Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота бакалавра

рівень вищої освіти__перший (бакалаврський) рівень_____

на тему__Удосконалення процесу кальцинації збагаченого антрациту_____

Виконав: студент _*4*_курсу, гр. *6.1362-м-с*
___Лантух О.С.
(ПІБ) (підпис)
спеціальності
____*136 Металургія*_____
(шифр і назва)
спеціалізація
_____
(шифр і назва)
освітньо-професійна програма
*Металургія*__
(шифр і назва)

Керівник _Скачков В.О._____
(прізвище та ініціали) (підпис)
Рецензент _Воденнікова О.С._____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя - 2025 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра *металургійних технологій, екології та техногенної безпеки*

Рівень вищої освіти *перший (бакалаврський) рівень*

Спеціальність *136 металургія*
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма *металургія*
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри *МТЕТБ*
Ю.О. Бєлоконь

"____" _____2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Лантух Олег Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкта) Удосконалення процесу кальцинації збагаченого антрациту

керівник роботи (проєкту)*Скачков Віктор Олексійович, д-р. т. н., проф.*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "27" грудня 2024 року № 2031-с

2. Строк подання студентом роботи (проєкта) *18.05.2025 р.*

3. Вихідні дані до роботи (проєкта) *науково-технічна література, періодичні видання за фахом, патентний пошук.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)*: 1 Технологічні особливості збагачення антрациту 1.1 Структура, властивості та збагачення антрациту; 1.2 Первинна обробка вуглецевої сировини; 2 Технологічні засади процесу кальцинування антрациту; 2.1 Особливості електрокальцинатора ІЕТ-10-УХ4; 2.2 Загальна структура процесу електрокальцинації; 2.3 Особливості реконструйованого електрокальцинатора; 2.4 Особливості експлуатації електрокальцинатора; 2.5 Технологія отримання електрокальцинованого антрациту; 3 Застосування термообробленого антрациту; 3.1 Підготовка повернень виробництва; 3.2 Підготовка пеку до виробництва пресмаси; 3.3 Підготовка фракційного складу наповнювачів; 4 Охорона праці і навколишнього середовища; 4.1 Характеристика ступеня безпеки*

процесу; 4.2 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища; 4.3 Захист від виявлених небезпечних і шкідливих факторівобпалених заготовок.

4. *Презентаційний матеріал 13 слайдах (на 13 сторінках)*

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
1 Технологічні особливості збагачення антрациту	*Скачков В.О., професор кафедри*	
2 Технологічні засади процесу кальцинування антрациту	*Скачков В.О., професор кафедри*	
3 Застосування термообробленого антрациту	*Скачков В.О., професор кафедри*	
4 Охорона праці і навколишнього середовища	*Скачков В.О., професор кафедри*	
Нормоконтроль	*Воденнікова О.С., доцент кафедри*	

7. Дата видачі завдання: *01.03.2025 р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Технологічні особливості збагачення антрациту		
2	Технологічні засади процесу кальцинування антрациту		
3	Застосування термообробленого антрациту		
4	Охорона праці і навколишнього середовища		

Студент *О.С. Лантух*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) *В.О. Скачков*
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи: 93 с., 4 частини, 9 рисунків, 11 таблиць, 41 посилання.

Тема диплома: «Удосконалення процесу кальцінації збагаченого антрациту»

Мета роботи – удосконалити процес прожарювання антрациту в електрокальцинаторі.

У загальній частині розглянуто такі питання: коротка характеристика підприємства, технологія підготовки сировини, технологія виробництва електродної продукції, технологія прожарювання антрациту в електрокальцинаторі, також розглянуто основні недоліки розжарювання антрациту в електрокальцинаторі.

У спеціальній частині розглянуто процеси, що відбуваються при прожарюванні антрациту, а також розглядається вдосконалена модель електрокальцинатора.

У розділі «Охорона праці та навколишнього середовища» розглянуто основні заходи щодо забезпечення безпечних умов праці персоналу та охорони навколишнього середовища, також наведено розрахунок рукавного фільтра.

ЕЛЕКТРОКАЛЬЦІНАТОР, ЕЛЕКТРОКАЛЬЦІНОВАНИЙ АНТРАЦИТ, ТЕРМОАНТРАЦИТ, ДРОСІЛЬ-ШАЙБА, ПРИДІЛЬНИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ СОПРОТИ, РЕГЕНЕРАЦІЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП 7

1 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗБАГАЧЕННЯ АНТРАЦИТУ 8

1.1 Структура, властивості та збагачення антрациту 8

1.2 Первинна обробка вуглецевої сировини 13

1.3 Фізико-хімічні процеси при електрокальцинації антрациту 16

1.3.1 Особливості термообробки антрациту 16

1.3.2 Формування летких складових та зольного залишку 17

2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПРОЦЕСУ КАЛЬЦИНУВАННЯ АНТРАЦИТУ 22

2.1 Особливості електрокальцинатора ІЕТ-10-УХ4 22

2.2 Загальна структура процесу електрокальцинації 26

2.3 Особливості реконструйованого електрокальцинатора 28

2.4 Особливості експлуатації електрокальцинатора 33

2.5 Технологія отримання електрокальцинованого антрациту 26

2.5.1 Вплив фракційного складу антрациту 36

2.5.2 Способи виробництва електрокальцинації 37

2.5.3 Відбір проб для оцінки якості кальцинації 39

2.5.4 Функціональні параметри якості кальцінованого антрациту 41

Висновки до розділу 43

3 ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМООБРОБЛЕНОГО АНТРАЦИТУ 44

3.1 Підготовка повернень виробництва 44

3.2 Підготовка пеку до виробництва пресмаси 45

3.3 Підготовка фракційного складу наповнювачів 45

3.4 Технологія підготовки електродної маси 47

3.5 Опис та параметри технологічного процесу 50

3.6 Технічні вимоги, методи контролю та маркування блоків електродної маси 51

3.7 Вибір матеріалу для виготовлення дроселя 54

3.7.1 Дроселювання потоку вугільної маси в шахті печі 57

3.7.2 Вибір технологічних режимів роботи реконструйованого

електрокальцинатора 67
3.7.3 Якість ЕКА, що отримується в удосконаленому електрокальцинаторі 72
4 ОХОРОНА ПРАЦІ І НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 72
4.1 Характеристика ступеня безпеки процесу 72
4.2 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища 75
4.3 Захист від виявлених небезпечних і шкідливих факторів 76
4.4 Рішення щодо виробничої санітарії 76
4.4.1 Штучне і природне освітлення 77
4.4.2 Природна і штучна вентиляція 77
4.4.3 Санітарно-побутові приміщення 78
4.5 Протипожежні заходи 81
4.6 Захист навколишнього середовища 81
4.6.1 Знешкодження викидів при прожарюванні сировини 81
4.6.2 Обґрунтування обраного способу очищення техногенних газів 83
4.6.3 Опис конструкції і принцип роботи рукавного фільтра 83
4.6.4 Розрахунок рукавного фільтра 85
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 89
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 90

ВСТУП

Технологічний рівень ведення металургійних процесів значною мірою відображає стан усієї металургійної промисловості, яка визначала і визначатиме добробут та прогрес багатьох держав.

Ефективність підприємств чорної та кольорової металургії значною мірою визначається грамотним вибором та експлуатацією технологічного обладнання, що використовується в технологічному процесі, а також високою працездатністю використовуваного обладнання. Ці фактори забезпечують високу продуктивність, економічність та екологічну безпеку технологічних процесів.

Основні види сучасної продукції: графітовані електроди для електропечей, подові та бічні блоки для алюмінієвих електролізерів, графітовані блоки для футерування доменних печей, блоки вуглецеві для футерування металургійних печей, вуглецеві маси користувалися та матимуть надійний попит.

Виробництво вугільної продукції має низку важливих недоліків: висока енергоємність виробництва, великі трудові та капітальні витрати, проблеми захисту довкілля.

Особливого значення у вуглецевому виробництві приділяється якості товарної продукції, що значно залежить від якісної підготовки шихтових матеріалів. Технологічна підготовка шихтових матеріалів одна із найважливіших етапів виробництва вугільних заготовок. Процеси підготовки шихтових матеріалів займають більше половини часу та трудомісткості при отриманні вуглецевих виробів.

У виробництві блоків електродної маси в даний час є ряд «вузьких місць» щодо оптимізації процесів переробки повернень виробництва, вибору оптимальних енергосилових характеристик по кожному технологічному переділу підготовки шихти, розробки гнучких транспортних потоків, підбору обладнання для дозування.

1 ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЗБАГАЧЕННЯ АНТРАЦИТУ

1.1 Структура, властивості та збагачення антрациту

Антрацит є природним вуглецевим матеріалом органічного походження. Антрацит є найдавнішим з відомих вугільних матеріалів, що має вік приблизно 300 мільйонів років [1-3].

Вуглеутворення є складним природним процесом перетворення органічного матеріалу рослинних тканин під впливом біологічних, хімічних, фізичних та інших факторів на вуглецеву структуру. За існуючими уявленнями процесвання вугілля протікало в три стадії:

1. Утворення торфу під впливом діяльності мікроорганізмів в умовах підвищеної вологості та при утрудненому доступі повітря.

2. Формування бурого вугілля після перекриття торфовища осадовими породами та скорочення біохімічних процесів. Ця стадія характеризується фізико-хімічними та хімічними процесами, що протікають при температурі до 100° С та підвищеному тиску. Ця стадія тривала сотні мільйонів років.

3. Заключна стадія характеризується широким колом фізико-хімічних і каталітичних процесів, в результаті яких буре вугілля перетворюється на кам'яне вугілля зі змінною структурою від довгопламенних до антрацитів.

Відомі три стадії метаморфізму: контактний (контакт із гарячою вулканічною магмою); регіональний або глибинний (опускання вугільних порід у зони з високими температурами та тиском); тектонічний (створення високих тисків у результаті складних процесів).

Проведені дослідження показали, що утворення антрацитів відбувається при великих тисках і температурі в межах 500-600 °С [3].

Відомим недоліком антрациту як сировини для електродної продукції є висока нестабільність його властивостей. Неоднорідності структури та властивостей обумовлені низкою причин, однією з яких є відмінність у формах вихідних рослинних матеріалів, з яких формувався антрацит.

Різноманітність умов утворення антрацитів зумовлює розкид інтервалів зміни їх властивостей. Цей факт скорочує можливості застосування антрацитів різних родовищ для високоякісної електродної продукції. Перехід з антрациту одного родовища на антрацит з іншого супроводжується, як правило, глибокими дослідженнями та тривалим періодом відпрацювання та стабілізації технології у виробника та випробувань у споживача. Тільки деякі види антрациту вважаються придатними як вуглецева сировина для електродної продукції.

Кам'яне вугілля макроскопічно неоднорідне і складається з петрографічних літотипів, що видно неозброєним оком: фюзена (волокнисте вугілля), вітрена (блискуче), кларена (напівлесне) і дюрена (матове вугілля) [3].

Неоднорідність властивостей антрацитів навіть у межах одного родовища доводить і великий обсяг петрографічних досліджень, виконаних для антрацитів Горлівського басейну. За результатами робіт встановлено, що ці антрацити можна підрозділити на 5-9 типів (за блиском), а в їх складі 11-15 різновидів за структурними ознаками, певної мінералізації та тектонічної порушеності.

З метою зниження впливу мінеральних домішок антрациту на якість електродної продукції необхідна така технологічна операція, як збагачення, спрямоване зниження вмісту цих домішок. При цьому важливим фактором, що впливає на умови збагачення, його глибину, вихід концентрату від класу, є ступінь його подрібнення. Наприклад, для великого класу антрациту, якщо він містить 2-6% золи, достатньо лише проведення операції відмивання антрациту [3].

У зв'язку з тим, що пласти антрациту, що розробляються, відрізняються і за розмірами, і по зольності в кернових пробах, збагачують у важкій рідини весь антрацит без поділу.

Вивчення процесів збагачення петрографічних різновидів антрациту показує, що шляхом флотації можна отримати концентрати з зниженням золи до 2-3%, а застосовуючи операцію подальшого збагачення подрібнених концентратів гравітаційними методами, можна досягти зольності 1,4 – 1,6 % і навіть 1,2 – 1,3 % [3].

Характеристики антрацитів, що застосовуються у виробництві термоантрацитів для електродної продукції, наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Властивості антрацитів українських родовищ

Показники	Донецький басейн	Горлівський басейн
Щільність, кг/см^3	1612	1760
Вихід летких речовин, см/г	47-60	150 – 160
Масова частка: Вуглецю Водню Золи Сірки Механічна міцність, %	 94 - 95 1,3 4 - 5 0,9-2,0 40 - 48	 94 - 95 2,1 3,5 - 4 0,4-0,5 60
Електроопір, мкОм/м	$0{,}6\cdot10^{-3}$	$1{,}8\cdot10^{-3}$
Мікротвердість, МПа	16,8	7,8

При цьому необхідно враховувати, що із зменшенням зольності збагаченого матеріалу знижується і вихід концентрату. Враховуючи такий факт, практичний поділ проводиться у важких рідинах у двоступінчастому сепараторі. З метою підвищення ефективності збагачення з антрациту перед збагаченням відсівають дрібні фракції в межах 0-6 мм.

Енергетичні антрацити різних марок у більшості випадків збагачуються до глибини 6-13 мм з виділенням відсівів без їхнього збагачення. Проте сучасні тенденції у розвитку збагачення енергетичних антрацитів свідчать про економічну доцільність їх збагачення від 0,5 - 0 мм.

Товарною продукцією процесу збагачення є великий та дрібний концентрати. Великий концентрат поділяється на товарні сорти: АКО антрацит крупний горіх, клас 25-120 мм; АТ антрацит горіх, клас 25-70 мм; АМ дрібний антрацит, клас 13-25 мм; АС антрацит насіння клас 6-13 мм. Дрібні фракції концентрату АШ (клас 0-6 мм) можуть у металургійній промисловості для агломерації залізних руд.

Рядові антрацити надходять до залізничних вагонах і розвантажуються двома вагоноперекидачами.

Після розвантаження антрацит подається системою стрічкових конвеєрів у дробильне відділення. Після дроблення антрацит розсіюється на колосникових гуркотах. Надрешітний продукт (клас >120 мм) після вибірки з нього чужорідних предметів піддається дробленню в дробарках ДДЗ-4М до крупності <120 мм і поєднується з підрешітним продуктом.

Далі антрацит надходить у дозувально-акумулюючі бункери, а у разі їх заповнення - на запасний склад.

Підготовче гуркотіння антрациту із знешламлюванням здійснюється на здвоєних резонансних гуркотах ГРЛ-72. Витрата води на мокре гуркіт і відмив шламів становить 0,4-0,5 м3/т без урахування транспортного потоку.

Антрацит крупністю 13-120 мм збагачується у важкосередніх сепараторах СК-20 з поділом на два продукти - концентрату відходи. При щільності поділу 1950 кг/м^3 засмічення концентрату породними фракціями становить не більше 1%, витрата суспензії - 80-85 м^3/(ч·м), витрата магнетиту 485 г/т, ефективність поділу Ev = 0,045 кг/дм^3.

Зневоднення продуктів збагачення та відмивання магнетиту виробляються на гуркотах ГСЛ-62. Витрата води на відмив магнітиту від продуктів збагачення становить 0,5-0,7 $м^3$/т.

Регенерація суспензії здійснюється у дві стадії па електромагнітних барабанних сепараторах ЕБМ-80/250.

Для збагачення дрібного антрациту (0,5-13 мм) використовують відсаджувальні машини ОМ-18. Установка перед відсаджувальними машинами дугових сит дозволяє скидати значну частину транспортної води та основна кількість шламу крупністю 0-0,5 мм.

Зневоднення концентрату відсадки проводиться на гуркотах ГРЛ-72 з поділом його на два класи 6-13 та 0,5-6 мм, останній клас надалі зневоднюється в центрифугах НВВ-1000.

Первинне згущення всіх шламів здійснюється в пірамідальних відстійниках; вторинне згущення шламів та освітлення води в радіальних згущувачах. Для обробки фугату центрифуг, фільтрату вакуум-фільтрів, шламових вод мокрих пиловловлювачів сушильного відділення та випадкових переливів служить зовнішній шламовий басейн (відстійник), розвантаження шламу.

Згущений шлам радіальних згущувачів частково прямує на флотацію, а частково без збагачення подається для згущення гідроциклони ГЦ-630, а потім для зневоднення в осаджувальні центрифуги НОГШ-1350.

Флотація антрацитового шламу здійснюється на флотіційних машинах МФУ-2-63. При навантаженні на машину 40-45 т/год і вихідної зольності 26-27 % отримують концентрат зольністю 16-17 % і відходи зольністю 65-66 %. Витрата реагентів становить: гасу - до 2000 г/т, Т-66 - до 200 г/т. Властивості продуктів збагачення представлені у табл.1.2.

Пройшовши стадію збагачення, концентрат АТ (клас 25-70) відвантажується в залізничні вагони, у яких надходить замовнику. Із залізничних вагонів антрацит вивантажується на склад сировини, де виключено змішування та засмічення.

1.2 Первинна обробка вуглецевої сировини

Всі вуглецеві матеріали, що надходять на електродний завод, піддаються термообробці: сушінню або прожарюванню. Сушать термоантрацити та прожарені кокси. Прожарюють антрацити та кокси, отримані при температурах коксування не нижче 1000 °С.

В результаті термічної обробки вуглецева сировина набуває комплекс властивостей, що визначають кінцеві характеристики вуглеграфітових виробів з високими функціональними властивостями (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2-Характеристики продуктів збагачення антрациту

Продукт збагачення	Випуск, т/год	Вихід, %	Зольність, %	Вологість, %
Концентрат:				
АКО	54,5	6,4	6,5	4,0
АТ	69,8	8,2	6,9	4,5
АМ	84,3	9,9	7,5	5,0
АС	129,4	15,2	9,9	5,9
АШ	316,6	37,2	16,5	8,4
Промпродукт	68,1	8,0	36,5	10,4
Відходи	128,5	15,1	69,3	6,5
Втрати	8,5	1,0	23,3	6,5
Разом	851,0	100,0	23,3	6,5

Сушіння. Термоантрацит і прожарений кокс, що надходить на завод, після відбору проб і вхідного контролю на відповідність вимог сертифікату вивантажують з вагонів у закриті склади сировини. При цьому забезпечуються такі умови, за яких різні види сировини не поєднуються між собою.

Вологість прожареної сировини перед наступними технологічними стадіями її переробки має перевищувати 0,3 %, а й за час зберігання і транспортування може набрати до 10 % і більше вологи. Сушка являє собою процес видалення вологи з твердих матеріалів випаром її і відведенням пари, що утворюються.

Теплову сушку здійснюють двома основними способами: конвективним - безпосереднім дотиком сушильного агенту (нагрітого повітря, топкових газів) з матеріалом, що висушується, і контактним - нагріванням матеріалу, що висушується, яким-небудь теплоносієм через теплопровідну стінку. Для сушіння вуглецевої сировини застосовують барабанні сушарки.

Прожарювання. Для стабілізації властивостей вуглецевої сировини, що визначають її поведінку при подрібненні, взаємодії з пеком при змішуванні та гомогенізації, пресуванні, подальшому випаленні та графітації, вона піддається операції прожарювання.

Прожарювання – це операція термічної обробки вуглецевої сировини при високих температурах без доступу повітря або в захисній атмосфері. У процесі прожарювання із сировини повністю видаляються волога і значна частина низькомолекулярних летких речовин, що складаються в основному з горючих газів. У процесі нагрівання збільшується коксівна та пікнометрична щільність, підвищується електропровідність та механічна міцність.

При прожарюванні відбувається зміна геометричних розмірів та маси шматків вуглецевої сировини. Зменшення маси пов'язане з видаленням вологи та летких речовин. Зміна розмірів, пов'язане з термоусадкою та ущільненням структури, є складним комплексом фізико-хімічних процесів, на ранніх стадіях яких переважають хімічні реакції з наступними структурними перетвореннями.

Виділення летких речовин починається за 200-250 °С, швидкість газовиділень всім вуглецевих матеріалів із підвищенням температури

зростає неоднаково. Газовиділення наростає до певного інтервалу температур, наприклад для нафтових коксів до 650-700 °С антрацитів до 700-800 °С. При подальшому підвищенні температури газовиділення різко знижується і за 1100-1300 °С здебільшого завершується.

Найінтенсивніші усадкові явища відбуваються при температурах максимального виділення летких (550-700 °С). В інтервалі температур 700-1000 °С летючі речовини, що виділяються, майже повністю зазнають пірогенетичне розкладання до елементних вуглецю і водню. У цьому інтервалі швидкість газовиділення зменшується, але зростає глибина піролізу.

Об'ємна усадка антрацитів, що містять від 2 до 4,5% летких речовин, коливається в межах 7,5-12,5%. При прожарюванні антрацитів в інтервалі до 900 °С і змін структурних параметрів фактично майже не спостерігається. З подальшим підвищенням температури до 1300 °С відзначаються значні структурні перебудови.

В електродному виробництві для прожарювання антрацитів використовуються електричні печі - електрокальцинатори. Електрокальцинатор є однофазною піч опору. Нагрівання антрациту здійснюється теплом, яке виділяється в процесі течії електричного струму через масу завантаженої шматкової сировини.

Технологічні умови обслуговування електрокальцинаторів зводиться до завантаження збагаченого антрациту і розвантаження кальценованого продукту, підтримці теплового режиму шляхом регулювання кількості електроенергії, введеної в піч. виконують при максимальних показаннях амперметра, що свідчить про зниження електроопору матеріалу.

1.3 Фізико-хімічні процеси при електрокальцинації антрациту

1.3.1 Особливості термообробки антрациту

У зв'язку з високою крихкістю антрациту всі нагрівальні печі для його термообробки створюються таким чином, щоб температура в них поступова, але підвищувалася до максимуму, а теплові та масові потоки йшли у протитоці. Для забезпечення цих умов у печі організується декілька температурних зон. Найчастіше організується чотири зони і відповідно їм, чотири стадії нагріву вугілля [8].

Перша зона. Це зона попереднього нагрівання антрациту до температури 300...500° С. У шахтних електропечах антрацит нагрівається сухими газами перегонки, розвивається в гарячих нижніх зонах і піднімаються пічною шахтою вгору до вихідного патрубка. У першій зоні з антрациту виділяється поверхнева адсорбована волога і починається процес сублімації органічних компонентів, що легко розкладаються.

Друга зона. У цій зоні реалізується плавне нагрівання антрациту до температури 700...800 °С. Нагрів супроводжується процесом видалення вологи, що входить до структури антрациту. Цей процес досить швидко закінчується, але повного видалення вологи з антрациту немає. Тільки в кінці нагрівання при досягненні 800 °С процес видалення вологи закінчується.

У другій зоні розкладаються тверді вуглеводневі сполуки та виділяються низькомолекулярні гази. Процес виділення газів протікає досить бурхливо. На цій стадії нагрівання починається термічна дисоціація піриту - одного з головних носіїв сірки в кам'яному вугіллі та антрациті. У умовах антрацит стає слабким провідником електричного струму. У цій зоні починається процес формування термоантрациту.

Третя зона. Третя стадія нагріву є дуже важливою для виробництва електродного термоантрациту. Вона визначає якісні показники термоантрациту, зокрема електропровідність. У цій зоні досягається

максимальна температура в межах дещо перевищують 2000 °С. При нагріванні антрациту його твердість підвищується, при 900 ... 1000 °С досягає максимального значення при подальшому нагріванні дещо знижується.

На самому початку третьої стадії при температурі 1100 °С практично завершується сублімація летких речовин і починається процес перебудови структури термоантрацита, формується макро-і мікропористість антрациту. На цій стадії розвивається процес утворення з аморфної структури антрациту графітовою складовою термоантрациту: утворюються малі за розміром, але впорядковані по мікроструктурі субзерна графіту.

Четверта зона. Ця стадія термообробки антрациту характеризується вирівнюванням температури по всіх фракціях шихти. Процеси, що відбуваються у цій зоні, визначають однорідність готового термо-антрациту.

Процес термічної обробки у цій зоні завершується остиганням антрациту перед вивантаженням його з печі.

У шахтних печах зазначені зони досить важко розмежувати, так як зони нагріву антрациту створюються самовільно, але у зв'язку з використанням в якості нагрівача антрациту, що нагрівається.

1.3.2 Формування летких складових та зольного залишку

В антрациті можна виділити органічну частину, що представляється вуглецем, золутворюючі компоненти, вологу і домішки. Зміст летких фракцій в антрациті залежить від ступеня метаморфізму вугілля: чим вище вік вугілля, тим менше в ньому летких складових мало і становить не більше 2 - 8 % мас. У цьому випадку при прожарюванні антрациту виділяється мало газів [8]. При відпалі донецьких антрацитів у шахтних печах у газову фазу виділяється 5-7 $м^3$ колошникового газу з розрахунку на кожну тонну вугілля.

У шахтних печах спостерігається підсос повітря в піч через її днище, тому гази сухого сублімації вугілля частково згоряють усередині шахти печі.

При цьому пригоряє також деяка частина нагрітого антрациту. Частка чаду антрациту становлять 8-12% мас.

Колошниковий газ при виході з печі містить достатню кількість горючих складових у вигляді оксиду вуглецю, водню та метану: 10...18% H_2; 5...7%; 9...10% ~~CO_2~~; 0,2 ... 0,4% CH_4; <0,3% SO_2; <0,1% H_2S; інше - азот N.

У гарячій зоні печі за температури вугілля не нижче 800 °С можлива реакція утворення газоподібних продуктів:

$$C + H_2O = H_2 + CO \qquad (1.1)$$

Реакція (1.1) ендотермічна, вона протікає з поглинанням 33 ккал теплоти для 1 моль H_2O. Кожен відсоток вологи, що збереглися в антрациті до температури протікання реакції, з розрахунку на 1 т вугілля дає 24,9 $нм^3$ газів, що в кількох якраз перевищує сумарний обсяг газів сухої перегонки антрациту. На утворення цієї кількості газів знадобиться близько 35 кг антрациту, при цьому теплотворна здатність колошникового газу підвищиться до 2600 ккал/$нм^3$. В результаті, з 35 кг вугілля можна отримати 31 $нм^3$ зручного для споживання газу з досить високою калорійністю.

Золутворюючі компоненти антрациту є мінеральними включеннями в структурі вугілля, на відміну від великих або дрібних фрагментів порожньої породи. Зольність антрациту для виробництва електродів, відповідно до ГОСТ 28986-91, не має перевищувати 3%. Хімічний аналіз золи виділяє у ній такі компоненти: кремнезем SiO_2, глинозем $A1_2O_3$, оксид заліза Fe_2O_3, оксид кальцію CaO, оксид магнію MgO. Крім зазначених компонентів у золі знаходять також оксид титану TiO_2, монооксид марганцю МгО та оксиди лужних елементів (Na_2O, K_2O), іноді незначна кількість фосфорного ангідриду P_2O_5.

Вміст у золі донецького антрациту названих компонентів [8], залежить від місця видобутку. Особливо це стосується кремнезему (11...54 %), до оксиду заліза (9...75 %) та оксиду алюмінію (7...28 %). Зміст інших

компонентів золи більш стабільний. Вміст оксіду кальцію коливається в межах 3...6%, оксиду магнію - 0,6...1,2%, сірчаного ангідриду - 1...4%, (табл. 1.3).

Після прожарювання антрациту загальна зольність продукту відпалу залишається практично постійною. Співвідношення компонентів золи в процесі прожарювання антрациту незначно змінюється.

Таблиця 1.3 - Хімічний склад золи антрациту

Номер проби	SiO_2, %	$A1_2O_3$, %	Fe_2O_3, %	CaO, %	MgO, %	TiO_2, %	MrO, %	$Na_2O + K_2O$, %
1	24,18	4,32	27,94	3,36	4,8	0,87	0,14	1,87
2	28,42	5,60	35,15	6,72	7,2	0,53	0,15	1,16

Після прожарювання антрациту загальна зольність продукту відпалу залишається практично постійною. Співвідношення компонентів золи в процесі прожарювання антрациту незначно змінюється.

Відповідно до ДСТУ 28986-91 у збагаченому антрациті Донецького вугільного басейну, призначеному для виробництва електродних виробів, загальний вміст сірки не повинен перевищувати 2% мас. Порівняно з іншими марками вугілля, цей вміст сірки вважається малим.

Сірка в антрациті існує у кількох формах — насамперед у вигляді дисульфіду заліза FeS_2, так звана пірітна сірка, а також у вигляді сульфату кальцію $CaSO_4$. Для донбаських шахт питома вага піритної сірки загалом сірки становить від 16 до 32 % мас. Сульфатної сірки в антрациті значно менше, ніж піритної, та становить 0,7...1,3 % травні. Органічна сірка має досить високу частку в загальному вміст сірки у вугіллі. Зазвичай це 40...60 % мас, проте є шахти, у вугіллі частка органічної сірки становить до 80 % мас. [7].

У процесі нагрівання антрациту пірит термічно розкладається. Ступінь розкладання піриту знаходиться в експоненціальній залежності від температури. Навіть при 400 °С спостерігається відщеплення від піриту атома сірки, а при 2000 °С досягається глибока десульфурація антрациту [9]. При температурах від 400 °С до 1000 °С розкладання дисульфіду заліза відбувається з утворенням бімолекулярної сірки. У зазначених температурних умовах ця форма існування сірки досить стійка [10]:

$$2FeS_2 \rightarrow 2FeS + (S_2)\uparrow \quad (1.2)$$

Якщо ж розкладання піриту продовжується при температурах, що перевищують 1200 °С, то газову фазу переходить одноатомна сірка:

$$FeS_2 \rightarrow FeS + (S)\uparrow \quad (1.3)$$

Сульфід заліза досить стійкий у маслі, тому повністю позбутися піритної сірки у великих шматках антрациту не вдається навіть в електрокальцинаторах при температурі вугілля 2000 °С і вище. При газовій кальцинації антрациту, яка виконується при температурах 1500 °С і нижче, антрацит видаляється до 75...80 % мас. піритної сери. Якщо ці реакції протікають у присутності елементарного кисню або сірчаного ангідриду SO_3, то сірка в газовій фазі окислюється до SO_2.

Сульфат кальцію при нагріванні антрациту термічно розкладається. Для початку дисоціації сульфату кальцію необхідно нагріти вище за 800 °С. При цьому дисоціація сульфату протікає за реакцією:

$$CaSO_4 \rightarrow CaO + (SO_3) \quad (1.4)$$

Видалення сульфатної сірки з термоантрациту загалом незначне. Це зумовлено недостатнім вмістом транспортних пір, необхідних для дифузії по

них сірчаного ангідриду з маси вугілля до поверхні поділу твердого тіла з газовою фазою, щоб образу SO_3 зміг видалятися зі шматків термоантрациту.

Сірчаний ангідрид SO_3 розкладається в температурному інтервалі від 1000 °С до 1300 °С. При термічній обробці антрациту в газовій фазі сірчаного ангідриду не утворюється лише ангідрид сірчистої кислоти SO_2 і зрідка сірчистий водень H_2S, який є продуктом розпаду органічної сірки.

Необхідно відзначити, що органічна сірка видаляється з антрациту менш інтенсивно, тому в готовому термоантрацит її відносний вміст зазвичай зростає. У товарному термоантрациті для вагранок, виготовленому з антрациту різних шахт, піритна сірка становить 5...10 %, сульфатна - 1...2 %, а органічна - від 88 до 93 %. Дані показують, що практично вся сірка цього термоантрациту знаходиться у формі сірки органічної.

Крім сірки, антрацит містить такі газові домішки, як азот, водень та кисень. Так, вміст водню у вугіллі знижується з1,2...1,4 до 0,2...0,4 % мас, а вміст азоту та кисню - з 1,6...2,9 до 1,0... 1,5 % мас. Слід зазначити, що верхня межа вмісту залишкових газів відноситься до термоантрациту низькотемпературного прожарювання, а нижній — до електрокальцинованого антрациту.

2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПРОЦЕСУ КАЛЬЦИНУВАННЯ АНТРАЦИТУ

2.1 Особливості електрокальцинатора ІЕТ-10-УХ4

Електрокальцинатор ІЕТ-10-УХ4 призначений для термічної обробки в умовах високих температур попередньо підготовленого антрациту з фракційним складом 6 - 25 мм та вмістом вологи до 3 %.

Технологічні умови роботи електрокалтцинатора:

- приміщення із штучним регульованим кліматичними умовами;
- нормальна висота над рівнем моря менше1000 м;
- допустима температура навколишнього середовища від +1 до +35 °С;
- відносна вологість довкілля трохи більше 80 %;
- довкілля не містить вибухонебезпечних газів, пилу та пари з концентрацією, що перевищує допустимі межі.

Основні технічні характеристики електрокальцинатора ІЕТ-10-УХЛ4 представлені у таблиці 2.1

Пульт керування встановлюється в окремому приміщенні, що задовольняє наступним вимогам:

а) вміст повітря електропровідного пилу трохи більше 0,5 мг/м^3;

б) частота вібрації не більше 8-15 Гц;

в) амплітуда вібрації в межах 0,03-0,51 мм.

Електропіччю є циліндричний кожух (5) виконаний з листової сталі малюнок 2.1. У верхній частині кожуха встановлюється верхній електрод (2), він закріплюється в електродотримачі (3). Для зручності кріплення верхнього електрода, електротримач складається з 2-х мідних водоохолоджуваних напівкілець, підвішених над кожухом за допомогою тяг до цехових металоконструкцій.

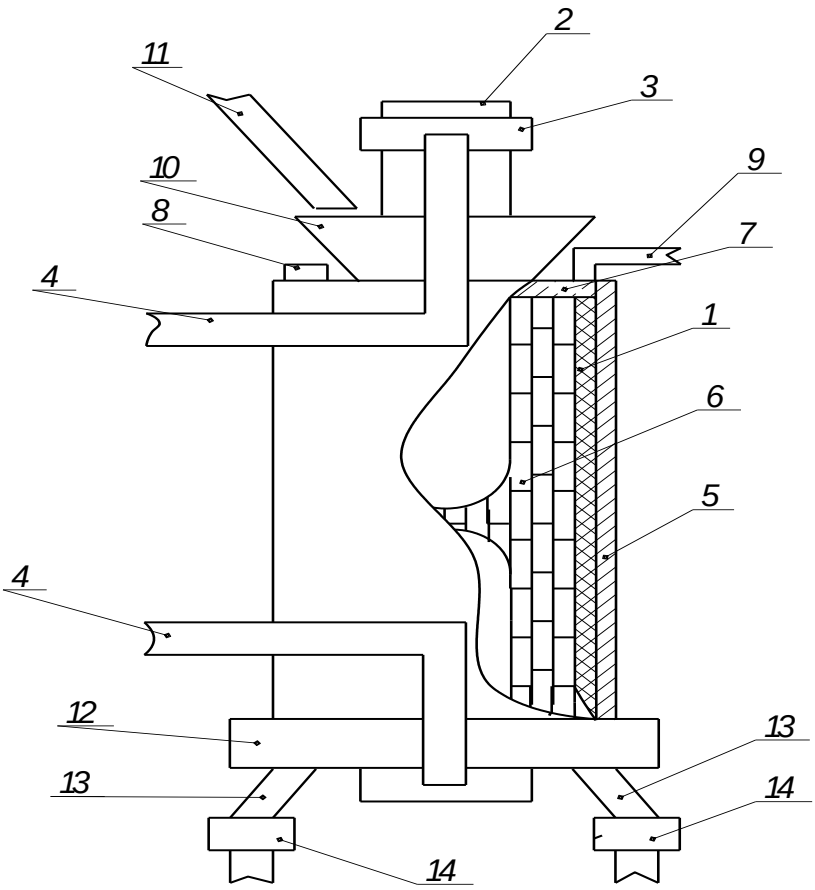
В електродотримач встановлюється електрод, що складається з графітованих електродів марки ЕГ діаметром 500±1 мм.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики електрокальцинатора ІЕТ-10-УХЛ 4

Найменування параметра	Нормальна	Допустима
Номінальна потужність трансформатора, кВ/А (не більше)	1600	
Номінальна частота, Гц	50	49,9-50,1
Діаметр верхнього електрода, мм	500	
Розміри робочого простору, мм: Діаметр Висота (відстань між електродами)	1800 2150	1900 1950-2350
Максимальна сила струму електрода, кА (короткий час)	20	25
Годинна продуктивність у встановленому режимі, кг/год	840	790-890
Витрата води, що охолоджує, $м^3$/ч	50	45-55
Питома витрата ел. енергії, кВт год/т	1100	1300
Напруга мережі живлення, В	10000	10200
Напруга управління, В	380/220	361-399 209-231
Число фаз мережі живлення 10000 В 380 В	2 3	
Габаритні розміри, мм ширина довжина висота	 3350 8385 18160	
Рівень звуку, дБА		80
Маса електропечі, т	51	
Маса футерування, т	14,7	
Повний середній термін служби до списання років, не менше	6	
Встановлений термін служби до середнього ремонту, років не менше	4	

Необхідна довжина досягається шляхом збирання декількох електродів з використанням ніпельних сполук. Нижня частина верхнього електрода має конічну форму. Напруга подається від трансформатора короткою мережею (4). Кожух електропечі виготовлений із листової сталі у вигляді циліндра (5). У нижній частині циліндричної обичайки по колу розташовані гнізда для встановлення термоелектричних перетворювачів, що встановлюються для контролю температури зовнішньої частини футерування.

Футерування виконане вогнетривкими та теплоізоляційними матеріалами. Вогнетривка частина викладена фасонною корундовою цеглою (марки МКС 72 або МКС 85) (6), а теплоізоляційна частина - матеріалом на основі волокна каолінового складу типу МКРР (1).



1 – теплоізоляція; 2 – верхній електрод; 3 – електродотримач; 4 – шинопроводи; 5 – металевий кожух; 6 - вогнетривка частина; 7 – кришка; 8 – запобіжний клапан; 9 – газохід; 10 - завантажувальна вирва; 11 - завантажувальна течка; 12 – механізм розвантаження; 13 - розвантажувальна течка; 14 - дозатор.

Рисунок 2.1 - Структура електрокальцинатора ІЕТ-10-УХЛ 4

Зверху робочий простір перекритий кришкою (7), що складається з металевої основи, закритої жароміцним бетоном. У кришці виконано два отвори: один представляється запобіжним клапаном (8), друге служить для відведення газів у газохід (9).

У кришку встановлюється лійка (10), через яку проводиться завантаження антрациту (11), а також встановлюється верхній електрод.

У нижній частині електрокальцинатора, в центрі столу, що охолоджується, вмонтована водоохолоджувальна опора з нижнім електродом, що має діаметр 700±10 мм.

До кожуха кріпиться водоохолоджувана обічайка, призначена для охолодження матеріалу, що прожарюється. Для зручності монтажу обичайка складається з двох напівобіцянок. У зовнішніх обичайках передбачені отвори для аварійного зливу води.

Водоохолоджуване днище механізму розвантаження змонтоване на двох рамах. Верхня рама служить напрямною для роликів цівкового колеса, яке отримує обертання через зірочку електромеханічного приводу.

На цівковому колесі встановлено два ряди лопаток. Верхній ряд лопаток скидає прожарений антрацит з днища у жолоб, що водоохолоджується, встановлений на нижній рамі. Нижній ряд лопаток скидає матеріал із жолоба в тічку, розташовану протилежно. Під одну течку (13) підводиться дозатор (14). Інша течка закрита та служить для відбору проб. .

Дозатор ДТА-200, встановлений під розвантажувальною течкою, призначений для стабілізації роботи електропечі в умовах оптимальної продуктивності шляхом урахування виходу антрациту при розвантаженні.

Величина дози не повинна перевищувати200 кг. А матеріал, що дозується, повинен бути з розмірами частинок до 25 мм.

Напруга до верхнього та нижнього електродів подається від трансформатора через коротку мережу, яка виконана мідними шинами в комплекті з електроізоляційними прокладками.

2.2 Загальна структура процесу електрокальцинації

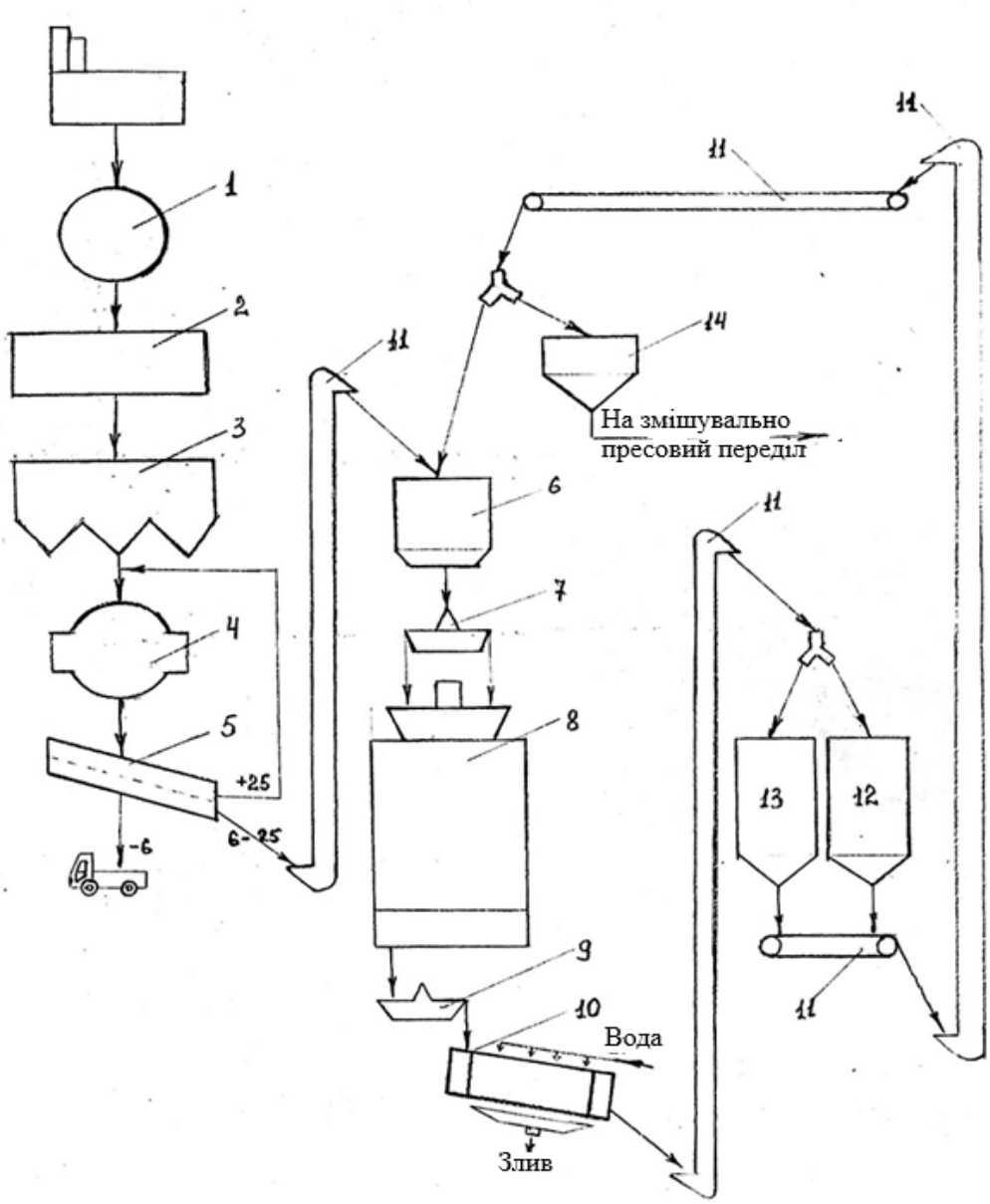
Пройшовши стадію збагачення, концентрат АТ (клас 25-70) відвантажується в залізничні вагони (МПС) та прямує споживачеві. З вагонів антрацит вивантажується складу сировини (1) рис. 2.2. Зі складу антрацит надходить у приймальні бункера цеху (2), з яких він подається в силос запасу ємністю 1500т.

Антрацит, що надходить на підприємство, має відносно високу вологість та використання його в подальшому виробничому циклі без попередньої термічної обробки неможливо [6].

Антрацит подається із силосів запасу (3) за допомогою віброживильників на стрічковий транспортер, з нього матеріал потрапляє на двовалкову зубчасту дробарку (ДДЗ-4 поз. 4), в якій він дробиться до фракції 25мм. Дроблений матеріал надходить на віброгуркіт (ГІЛ-32-0.15) за допомогою ковшевого елеватора (11). Після класифікації на гуркоті (5) «ділова» фракція 6-25 потрапляє у видаткові бункери електрокальцинаторів (6) за допомогою елеватора і транспортера (11), фракція + 25 повертається на повторне дроблення, а фракція - 6 потрапляє в накопичувальний бункер, з якого автотранспортом вивозиться на склад для.

Для контролю грансостава антрациту, що подається у видаткові бункери електрокальцинаторів (6), проводиться відбір проби один раз на зміну. Місце відбору проби – падіння матеріалу в бункер із транспортера, маса проби не менше 1кг, пробу відбирає прокальщик у присутності контролера ВТК.

З видаткових бункерів матеріал потрапляє в проміжні бункери ваговимірювачів (7), за допомогою віброживильників. Звідти «самотеком» надходить у шахту електрокальцинаторів (8).



1 – склад сировини; 2 - приймальне відділення; 3 – силосу запасу; 4 – дроблення матеріалу; 5 – класифікація матеріалу на гуркоті; 6 – видатковий бункер; 7 - бункер-ваговимірювач; 8 – електрокальцинатор; 9 – дозатор; 10 - барабан-охолоджувач; 11 – потоково-транспортна система; 12 - бункер НЕКА; 13 – бункер ЕКА; 14 – сортовий бункер.

Рисунок 2.2 – Технологічна схема процесу електрокальцинації антрациту

2.3 Особливості реконструйованого електрокальцинатора

Основним завданням при реконструкції електрокальцинатора було одержання товарного електротермоантрациту шляхом одностадійної термообробки вугілля. Отриманий за один прохід ЕТА при цьому повинен мати питомий електроопір не вище 1000 мкОм·м, а однорідність властивостей вугілля повинна бути такою, щоб не менше 50...60 % всього електротермоантрациту мало УЕС, що відрізняється не більше ніж на 100 мкОм. Усього цього необхідно було досягти за мінімальних витрат електроенергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

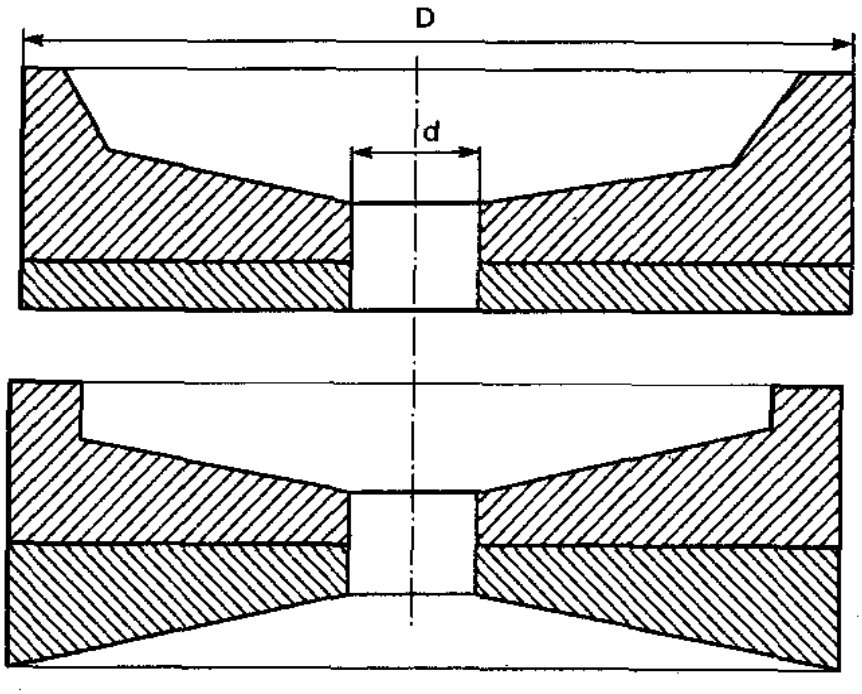
• перемішувати вугільну шихту в процесі її прожарювання з метою покращення якості та однорідності властивостей одержуваного елекротермоантрациту;

• досягти однорідного нагріву всієї вугільної шихти, яка проходить крізь піч;

• домогтися, щоб процес прожарювання антрациту керувався з пульта управління, що є передумовою для наступної автоматизації процесу електрокальцинації антрациту. Бажано було вирішити всі три поставлені завдання одним пристроєм, щоб не ускладнювати надмірно конструкцію електрокальцинатора.

На початковому етапі пошуку конструкторських рішень проаналізовано процеси відпалу антрациту в шахтних електропечах різних конструкцій з урахуванням результатів власних досліджень. Крім того, було проаналізовано доступну нам патентну літературу з шахтних електропіч. Аналіз показав, що раніше робилися окремі спроби перемішування вугільної шихти в шахтних печах, але тільки в безпосередній близькості до стінки футеровки, що практично жодним чином не позначилося як термоантрацит. Ми ясно уявляли, що перемішувати необхідно не частину вугільної шихти, а всю шихту без винятку, а цього можна досягти лише

шляхом дроселювання всього, а не частини вертикального потоку вугільної шихти безпосередньо в самій печі за допомогою дроселя. У зв'язку з цим уявлялося, що дросель повинен виглядати подібно до одного з макетів на рисунку 2.3.



D – діаметр дроселя; d – діаметр отвору дроселя.

Рисунок 2.3 – Варіанти розроблених макетів дроселя

Таким чином, реконструйована електропіч для прожарювання антрациту зовні нічим не відрізняється від аналога. Усі нововведення її конструкції стосуються лише внутрішнього пристрою.

Встановлення в шахті печі дроселя, як показали випробування, дозволило нам вирішити одночасно всі поставлені вище завдання.

По-перше, проходячи через дросель, дроблений термоантрацит рухається не тільки вертикаллю зверху вниз під дією сили тяжіння, але і по горизонталі від стінок до центру шахти печі. Такий характер руху кожного зерна вугілля необхідно було організувати, не вдаючись до використання зовнішніх сил. Частка вугілля у своєму русі вниз отримає додатково

горизонтальну складову руху, що і призведе до перемішування шматкової шихти.

По-друге, установка дроселя призвела до того, що вся без винятку вугільна шихта проходить через дросель, в циліндричній частини якого вона піддається інтенсивному і однорідному електроконтактному нагріванню, час нагріву термоантрациту визначається продуктивністю печі та висотою циліндричної порожнини дроселя.

Щільність електричного струму в циліндричній частині дроселя буде в стільки разів більшою, скільки перетин отвору в дроселі буде менше горизонтального перерізу шахти електрокальцинатора. І це співвідношення можна за бажання довести до 10. Але головне, що щільність струму в межах циліндричної частини дроселя буде більш-менш однорідною, а це надзвичайно важливо для рівномірного електронагрівання термоантрациту. Підвищення щільності електричного току в циліндричній частині дроселя призводить до швидкого і ефективному нагріванню знову ж таки всієї без винятку шихти. Крім того, при такій схемі нагрівання вугілля практично вся енергія вкладатиметься в антрацит, укладений в циліндричній порожнині дроселя.

Експерименти на дослідній печі показали, що зміна сили струму, що подається в піч, дуже швидко позначається на значенні УЕС термоантрациту. Ці досліди дали впевненість, що піч із дроселем можна перевести на автоматичний режим керування [14].

При певному співвідношенні діаметрів шахти печі та дроселя подрібнена вугільна шихта повільно рухається по похилій поверхні верхньої частини дроселю. Кут нахилу верхньої частини дроселя має бути на 2...10° менше, ніж кут тертя термоантрациту та поверхнею дроселя. Мета такого заходу полягає в тому, щоб антрацит ковзав по шару свого матеріалу, а не по поверхні дроселя, що захистить дросель від абразивного зносу. Треба пам'ятати, що антрацит, а тим більше термоантрацит, має дуже високу твердість. Твердість сирого антрациту досягає 5 одиниць за шкалою Моосу,

а термоантрациту 7...8 одиниць, і тому вказаний матеріал слід розглядати як звичайний абразив для дроселя.

Розміри спроектованого нами дроселя (1950х500 мм) його довелося виготовляти з 14 неповних секторів кола двома шарами. Складання дроселя з готових секторів проводиться безпосередньо в печі за допомогою спеціальних монтажних пристроїв.

Зібраний дросель є кільцем, в центрі якого утворюється багатогранний отвір, діаметр якого складається 0,25 ... 0,60 внутрішнього діаметра пічної шахти. Якщо співвідношення зазначених діаметрів буде менше 0,25, то в цьому випадку не виключається можливість занадто інтенсивного нагрівання термоантрациту в циліндричній частині дроселя, що може призвести до розтріскування окремих зерен вугілля та небажаного понаднормативному подрібненню одержуваного електротермоантрациту. При співвідношенні діаметрів більше 0,60 ефективність нагрівання вугілля надмірно знизиться, що призведе до падіння виробничої печі.

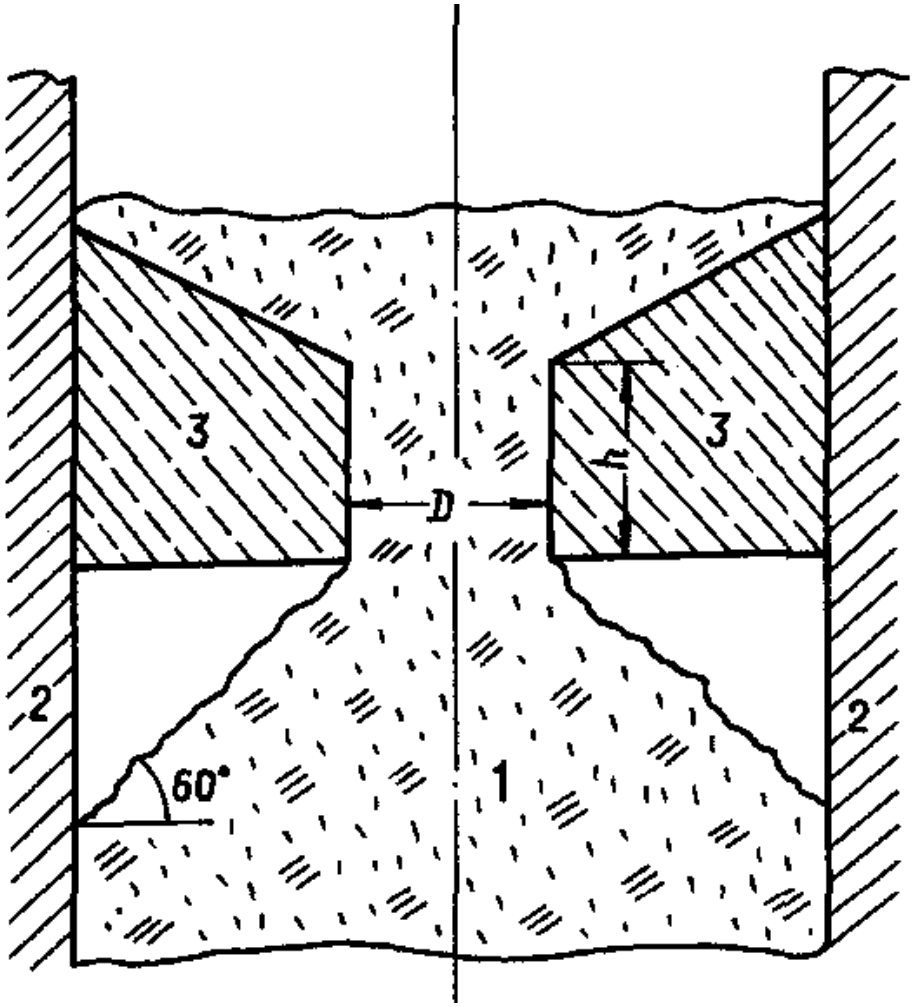
Розміщувати дросель необхідно у верхній половині висоти шахти кальцинатора, щоб при роботі печі в нього надходив, як нагрітий в першій і другій наделектродній зоні нагрівання термоантрацит, спиратися дросель повинен на футерування печі. Між дроселем та сталевим кожухом печі укладають шар електротеплоізоляції. При цьому особливу увагу необхідно приділяти саме електроізоляції, так як при роботі печі на дроселі наводиться «плаваючий» електричний потенціал по відношенню до землі, і у разі недостатньої електроізоляції можливий пробий струм з дроселя на кожух, який за вимогами техніки безпеки надійно заземлюється.

Закони поведінки сипучої шихти термоантрацита такі, що при пересипанні дрібнокускової маси з однієї ємності в іншу через якийсь отвір маса шихти в нижній ємності формується у вигляді конуса.

Геометричний кут конуса біля його основи дорівнюватиме куту природного укосу шихти. Неодноразові виміри показали, що цей кут у

вугільній шихті фракційного складу [6-25] мм, на якій працює завод, близький до 60°.

Неважко зрозуміти, що в цьому випадку в піддросельному просторісті (рис. 2.4) печі завжди існуватиме порожній простір, обмежений з однієї сторони вогнетривкою футеровкою печі, зверху — нижньою площиною дроселя, а знизу і з іншого боку — утворюється конус вугільної шихти. Природно, що ця пустота розірве електричний ланцюг між верхнім і нижнім частинами дроселя, і електричний струм буде перетікати тільки по масі термоантрацита, що знаходиться в циліндричної порожнини дроселя.



1 - шихта; 2 - вогнетривка облицювання кожуха печі; D - діаметр; h - висота циліндричної порожнини дроселя

Рисунок 2.4 - Схема розташування антрацитової шихти в дроселі

Побоюватися перебігу істотної частки електричного струму по стінках циліндричної порожнини дроселя не варто, оскільки електропровідність нагрітого в поделектродній зоні термоантрацит набагато вище, ніж матеріалу дроселя. Крім того, поперечний переріз термоантрациту в циліндричної порожнини дроселя досить велике, щоб забезпечити переважне протікання струму по вугільній шихті печі у зазначеній порожнині.

Виходячи з цього, було прийнято рішення нижню частину дросель-шайби виготовити у вигляді конфузора, при цьому кут повинен бути 45°, що також забезпечить безперешкодний рух газів, що відходять до газоходу, що утворюються в нижніх зонах електрокальцинатора.

2.4 Особливості експлуатації електрокальцинатора

При експлуатації кальцинатора необхідно дотримуватись загальних правил технічної експлуатації електроустановок, правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок, що діють на підприємстві - споживачі та керуватися документами на обладнання, що комплектується.

До обслуговування печі допускається персонал, який пройшов спеціальне навчання з експлуатації електротехнічного та допоміжного обладнання, що пройшли інструктаж за правилами техніки безпеки під час її обслуговування та процесу кальцинування.

Забороняється включати піч після тривалого простою, не переконавшись у її справності. Робота на несправній печі категорично забороняється.

Вода для охолодження елементів печі повинна відповідати вимогам:

- загальна жорсткість.....не більше 4 мг-екв/л;
- карбонатна жорсткість .....не більше 3,5 мг-екв/л;

Для забезпечення стабільної роботи печі вихідний антрацит повинен відповідати таким вимогам:

- фракційний склад.....(-25+ 6) мм;

- вміст фракції +25 мм.....не більше 10%;

- вміст фракції-6 мм.....не більше 10.

Після прожарювання ЕКА повинен мати питомий електроопір не більше 1000 мкОм. Допускаються разові значення УЕС ЕКА до 1100 мкОм.

Після закінчення монтажу або капітального ремонту печі перед включенням печі обов'язково здійснити обкатку або випробування з метою перевірки правильності її збирання як усієї в цілому, так і окремих складових частин.

Перед включенням печі на розігрів необхідно:

- провести зачистку від оксидів контактних місць з'єднання мідного електродотримача та графітового електрода. Вставити електрод в електродотримач і зробити обтяжку;

- переконатися в наявності заземлення всього ел.обладнання та металоконструкцій, передбачених технічною документацією;

- закрити дверцята шаф управління;

- поставити рукоятки перемикачів у положення "ручне", автоматичні вимикачі мають бути відключені;

- перевірити затягування різьбових з'єднань;

- перевірити якість складання системи водяного охолодження та стиснутого повітря;

- перевірити правильність встановлення термоелектричних датчиків;

- перевірити роботу світлової та звукової сигналізацій;

- перевірити наявність та справність захисних кожухів та огорож, надійність блокувань;

- підготувати до роботи контрольно-вимірювальні прилади;

- випробувати роботу пневмоциліндрів дозатора та механізму розвантаження;

- перевірити роботу шибера на трубі відхідних газів, стан ізоляції та фланцевих з'єднань;

- видалити з газоходу тверді відкладення, що утворюються під час експлуатації печі;

- перевірити стан газового обладнання системи допалювання летких;

- вмикати електрику в роботу тільки після перевірки її на холостому ходу, налагодження електричної схем та комплексних випробувань.

Готовність печі до пуску оформляється актом.

Після виходу печі на режим відключити силовий трансформатор і зробити повторну обтяжку мідного електродотримача.

Перед пуском печі необхідно:

- виконати природне сушіння футеровки і дросель-шайби при температурі навколишнього повітря протягом не менше 24 годин;

- заготовити у видатковому бункері печі приблизно 20 т (для печі з дросель-шайбою – приблизно 17 т) термоантрациту або недопрожареного антрациту (далі за текстом – НЕКА) для заповнення робочого простору печі до рівня пробки;

- очистити від сторонніх предметів робочий простір печі, робочі майданчики та ретельно обдути коротку мережу;

- встановити верхній електрод в електродотримач з дотриманням відстані між електродами (від верхнього зрізу нижнього до нижнього зрізу верхнього електродів)2000 мм;

- перевірити систему водоохолодження на відсутність витоків води;

- заповнити робочий простір печі термоантрацитом або НЕКА (при повністю відкритому шибері на трубі газів, що відходять) до верхнього зрізу пробки;

Пуск і сушіння футерування проводити тільки в ручному режимі керування. При її розігріві стежити за зростанням температури газів, що відходять (не більше 700 °С) і зовнішньої поверхні вогнетривкої цегли (не більше 350 °С).

2.5 Технологія отримання електрокальцинованого антрациту

2.5.1 Вплив фракційного складу антрациту

Для стабілізації роботи електрокальцинатора антрацит на прожарювання подається певного грансклад. Для цього антрацит піддається дробленню на зубчастій двовалковій дробарці та розсіюється на вібраційному гуркоті ГІЛ 32-0.15, на якому встановлюються сітки з розмірами комірки25 ммі6 мм. Фракція (-25+6) мм прямує на прожарювання, фракція +25 мм відправляється на повторне дроблення, фракція - 6 мм накопичується в бункері і вивозиться на майданчик підприємства для подальшої термічної обробки.

Наявність у непрожареному антрациті фракцій менша6 мм сприяє утворенню спіків на футеруванні печі. Цей факт порушує рівномірний сход антрациту і може спричинити підвищення температури за рахунок зниження питомого електроопору та збільшення сили струму.

Наявність зависання визначається за показаннями приладів контролю температури зовнішньої поверхні футеровки, по несиметричному сходу матеріалу в завантажувальній лійці, по нерівномірності ступеня нагрівання матеріалу на розвантажувальному столі по колу.

Прожарювання антрациту відбувається внаслідок виділення тепла внаслідок проходження крізь нього електричного струму. Технологічний режим прожарювання заснований на використанні властивості антрациту зменшувати свій питомий електричний опір у процесі нагрівання та можливості підтримки сили струму у вузькому діапазоні за рахунок періодичного вивантаження певної порції прожареного матеріалу.

При вступі в робочу зону непрожареного антрациту електричний опір зони зростає, а сила струму зменшується. Після нагрівання електричний опір зони зменшується, а сила струму - зростає. Після вивантаження заданої порції матеріалу процес повторюється.

Основне теплоутворення відбувається в області конусної частини

верхнього електрода, що обумовлено високим питомим електричним опором вихідного антрациту. У нижчих зонах стовпа шихти, завдяки зниженню електроопору, тепловиділення знижується, а на рівні верхнього зрізу нижнього електрода - припиняється. Робочий простір вертикальної осі між електродами є зоною прожарювання. Нагрів антрациту в зонах, віддалених від вертикальної осі робочого простору, здійснюється переважно за рахунок тепла, що надходить з основної зони прожарювання.

Ступінь прожарювання антрациту залежить від температури прожарювання та тривалості перебування матеріалу в зоні високих температур. Підтримка необхідного теплового режиму здійснюється опосередковано, шляхом узгодження кількості електричної енергії, що вводиться в піч, зі швидкістю вивантаження , тобто . годинної продуктивністю.

З метою зниження градієнта температур у площині, перпендикулярній вертикальній осі симетрії шахти печі, служить дросель-шайба, яка встановлюється у робочій зоні шахти. Схема установки дросель-шайби показана на рис.2.3.

2.5.2 Способи виробництва електрокальцинації

Процес електрокальцинації антрациту можливо проводити за двома схемами – двостадійною та одностадійною.

Двостадійне кальцинування передбачає проведення 1-ї стадії - отримання недопрожареного термоантрацита (НЕКА) з питомим електричним опором більше 1000 мк·Ом з наступним проведенням 2-ї стадії - отримання ЕКА з питомим електричним опором менше 1000 мкОм·м. Режими кальцинування представлені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Режими кальцинування

Параметри	1-я стадія	2-я стадія
Струм на високій стороні, А	55 - 65	65 - 90
Маса дози вивантаження, кг, не більше	110	100
Температура газів , °С	300 – 500	300 – 500
Питома витрата ел.енергії кВтг/т	550	750

Отриманий НЕКА прямує в пристрій № 7. При двостадійному прожарюванні НЕКА подавати в кальцинатори на другу стадію без попереднього розсіву на гуркоті.

При зміні стадії кальцинування з другої на першу подачу НЕКА в бункер кожного кальцинатора, який робив другу стадію, починати робити через 13-15 годин від початку першої стадії при дозі вивантаження 90 кг і через 11-13 годин при дозі 110 кг. Початком кожної стадії вважати календарний час початку завантаження антрациту або НЕКА в піч, що виробила весь попередній матеріал рівня зрізу пробки печі.

У печах із встановленою дросель-шайбою проводиться ЕКА в одну стадію. В цьому випадку процес кальцинування проводиться за наступним режимом:

- струм на високій стороні трансформатора, А 35-50;
- маса дози вивантаження, кг 50-60;
- питома витрата електричної енергії, кВт/т, не більше…… 1000;
- температура газів, що відходять , °С .....300 - 700.

Температура газів підтримується за допомогою автоматичного регулювання положення заслінки на вертикальній ділянці газоходу.

Забороняється проводити вивантаження ЕКА із шахти печі при включеному трансформаторі, тобто в режимі кальцинування.

В аварійних випадках, за відсутності можливості продовження кальцинування, звільнення системи від непрожареного антрациту

вироблялося вивантаженням антрациту в бункер, заздалегідь звільнений від НЕКА.

Для звільнення бункера 7 від непрожареного антрациту на гуркоті видаляються сітки і антрацит подається в бункер для його вивезення автотранспортом до приймального відділення для подальшого використання.

Після звільнення бункеру обов'язково проводити очищення «черевика» елеватора від залишків антрациту.

Основним завданням при налаштуванні режиму роботи печі є підбір маси дози вивантаження та перерв між вивантаженнями для кожної потужності, що забезпечить задані показники УЕС ЕКА.

Після кожної зміни режиму роботи кальцинатора ефект зміни визначатиме по УЕС проб, відібраних приблизно через 20 годин після проведеної зміни з урахуванням часу проходження зони підігріву та тривалості вимушених простоїв.

Тривалість часу знаходження антрациту у шахті кальцинатора від завантаження до вивантаження називається часом прожарювання. Безперервно рухаючись зверху-вниз антрацит проходить три зони:

• зону підігріву (вище за конус верхнього електрода);

• зону прожарювання (між електродами);

• зону охолодження (нижче за верхній зріз нижнього електрода).

2.5.3 Відбір проб для оцінки якості кальцинації

Для контролю процесу кальцинування проводити відбір проб ЕКА на вивантаженні з барабана-охолоджувача від кожної печі, що працює, двічі на зміну через кожні 4 години для визначення показника УЕС. Відбір проб проводити через (2 - 2,5) хв після висипання дози з дозатора ДТА-200. Маса проби не менше1 кг.

При невідповідності УЕС ЕКА (будь-якої працюючої печі) нормі спрямовувати недопрожарений матеріал у бункер і проводити відбір проби

цієї печі відразу після отримання результату. Якщо результат наступної проби є незадовільним, подальший відбір проб проводити кожні дві години до отримання позитивного результату.

При проведенні першої стадії прожарювання відбір проб НЕКА проводити один раз на зміну через чотири години після початку зміни. Місце відбору проб – конвеєр поз. 18 або 19 (рисунок 2.1) (загальна проба від усіх печей, які робили першу стадію кальцинування). При переході другу стадію початок відбору проб від кожної працюючої визначає ст. майстер (майстер) прокалочного відділення відповідно до порядку переходу.

Для контролю гранскладу антрациту, що завантажується у видаткові бункери кальцинаторів, проводити відбір проби масою не менше1 кг один раз на зміну при скиданні його із завантажувальних конвеєрів поз. 209 або 210 у видаткові бункери.

Доставку проб у ВТК здійснює прокальник, підготовку проби для визначення УЕС проводить контролер ВТК, визначення УЕС та гранскладу здійснює лаборант ІЛ.

Фіксуються в цеховому журналі через кожні дві години такі параметри:

- напруга первинна на високій стороні трансформатора;
- навантаження струмове на високій стороні трансформатора;
- напруга на електродах
- потужність активну;
- кількість вивантажень;
- масу дози вивантаження
- температуру газів, що відходять;
- витрата електричної енергії за лічильником;
- питома витрата електричної енергії (розрахункова величина);
- УЕС ЕКА (результати апробування ІЛ).

В процесі кальцинування антрациту відбувається виділення газів в об'ємі від 550 м^3/год до 800 м^3/год, що надходять у витяжну трубу. На виході

з труби гази спалюються в факелі природного газу, що горить.

Якщо простий не перевищив 8 годин нагрівання печі проводити шляхом плавного збільшення струму (зміною ступенів напруги) на високій стороні трансформатора протягом 30 хвилин до величини струму, коли відбулося відключення трансформатора. Вивантаження матеріалу з печі починати після досягнення заданого за регламентом струму.

У процесі експлуатації печі з дросель-шайбою на конусній частині верхнього електрода утворюється «наріст» з вуглецевого матеріалу, який з часом збільшується в обсязі та відривається від електрода внаслідок руху антрациту. Шматки, що відірвалися, рухаються разом з прожареним антрацитом вниз, осідають на розвантажувальному столі і ускладнюють подальше вивантаження ЕКА з шахти. Тому періодично – не рідше одного разу на місяць – проводити повне вивантаження матеріалу з шахти печі та вручну видаляти шматки з розвантажувального столу.

2.5.4 Функціональні параметри якості кальцінованого антрациту

Якість ЕКА в першу чергу визначається показниками питомого електроопору термоантрациту та однорідністю продукту прокалювання антрациту.до для оцінки партії випущеного термоантрациту, але й для характеристики роботи електрокальцинатора як терміческого агрегату. Якість роботи електрокальцинатора визначається ступенем однорідності температурного поля яке розповсюджується по масі всієї вугільної шихти, незалежно від шматкових фракцій вугілля.

Однорідність властивостей електротермоантрацита визначалася за показниками питомого електроопору. Проби готового термоантрациту відбиралися через кожні дві години роботи кальцинатора протягом доби при постійному значенні її потужності.

Встановлено, що термоантрацит, питомий електроопір якого менше 600 мкОм·м, у загальній масі вугілля становить понад половину.

Вище було сказано, що для характеристики електроантрациту часто використовують такий параметр продукту прокалювання антрациту, як вміст структури термоантрациту графітової складової. Цей параметр безпосередньо пов'язаний з УЕС термоантрациту: чим вищий вміст графітової складової у структурі ЕКА, тим вища його електропровідність і нижче значення УЕС.

Результати неодноразових аналізів показали, що затримання графітової складової в макроструктурі загартованийного антрациту знаходиться в межах 4,0 ... 7,0%. У фракціях 20...25 мм виявляється і нижчий вміст графітової структури. Як середній показник можна прийняти 6,3 ± 0,4 %.

Пікнометрична щільність електроантрацита, отриманого в електрокальцинаторі покращеної конструкції, характеризується досить високими результатами.. Зазвичай це 1,90 ± 0,008 г/см^3 або 1,92 ± 0,02 г/см^3, що свідчить про високу істинну щільність отриманого вугільного матеріалу.

Вміст золи у прожареному антрациті, як показали результати його аналізу, ніколи не перевищувало 2,3 %. Більшість проб містило 1,9...2,1% золи. Середній вміст золи становив 2,03±0,23%.

Вміст сірки зазвичай пов'язано із зольністю, так як не вся пов'язана сірка може бути видалена в умовах високотемпературного нагріву антрациту в пробах середній залишковий вміст сірки складає 0,55 ± 0,05%.

Висновки до розділу

1. При високотемпературній обробці антрациту відбуваються термічні процеси, мета яких - отримати вуглецевий матеріал достатньої електропровідності, який надалі може використовувати його як сировину у виробництві різних електродних виробів, таких як обпалені катодні подові та бічні блоки алюмінієвих електролізерів, як найбільш масова продукція заводу, вуглецеві маси для електродів феросплавних печей та анодів алюмінію.

2. Основним завданням у процесі електрокальціювання є отримання товарного електротермоантрациту методом одностадійної термообробки. Отримуваний за один прохід електроантрацит повинен мати питомий електроопір не вище 1000 мкОм·м, а однорідність властивостей повинна бути таковий, щоб не менше 50...60 % всього електротермоантрациту мало розкид УЕС не більше ніж 100 мкОм.

3. Для досягнення поставленої мети необхідно:

• перемішувати вугільну шихту в процесі її прожарювання з метою покращення якості та однорідності властивостей одержуваного електротермоантрациту;

• забезпечити однорідне нагрівання всієї вугільної шихти, яка проходить крізь кальцинатор;

• забезпечити керування процесом прожарювання антрациту з пульта керування, який буде початком наступної автоматизації процесу електрокальцинації антрациту.

3 ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМООБРОБЛЕНОГО АНТРАЦИТУ

3.1 Підготовка повернень виробництва

Попереднє дроблення пресованих повернень виробництва проводиться у щокових дробарках СМД-111Б та СМД-109, встановлених послідовно.

Сипучі графітовані повернення дробляться на двовалкової зубчастій дробарці ДДЗ-6.

Розміри шматків повернень виробництва після попереднього дроблення не повинен перевищувати 50 мм у будь-якому вимірі.

Контроль крупності дроблення повернень виробництва здійснює машиніст млинів на початку дроблення.

«Зелений бій» прямує у сортові бункери без розсіву. Вміст шматків розміром понад 20 мм має бути не більше 10%.

Остаточне дроблення графітованих, обпалених та «зелених» повернень виробництва виконується на молоткових дробарках СМД-147. Після дроблення графітовані та обпалені повернення піддаються розсіюванню на гуркотах ГІЛ33-0.15.

Контроль грансклади сортових фракцій:

- періодичність відбору проб-двічі на зміну;
- місце відбору проб-пробовідбірники сортових бункерів.

Проби доставляє машиніст млинів, розсівання виробляє лаборант ІЛ (дослідницької лабораторії).

При перекладі розмелювання та розсівання на інший вид матеріалу відповідні бункери звільняються від матеріалу, що раніше використовується.

Обпалені та графітовані повернення виробництва після дроблення передаються транспортними лініями цеху на гуркіт вібраційний ГІЛ-32-0.15 для розсіву за діловими фракціями та складування в сортових бункерах.

3.2 Підготовка пеку до виробництва пресмаси

На електродний завод пек поставляють в рідкому вигляді в залізничних термоцистернах, що обігріваються, і в разі необхідності розігрівають до температури не менше 120-130 °С (марки А та Б) та 160-180 °С (марка В). Після цього пек зливають у пекоприймачі або пекоплавці, місткість яких від 50 до 500т. Загальна місткість пекоскладу має бути не менше 15-ти добового запасу.

Перед подачею у виробництво пек вистоюється в пекоплавцях при наступному режимі: температура не нижче 125 °С, тривалість вистоювання пеку не менше 3 годин після досягнення заданої температури. Потім пек подають у напірні баки змішувально-пресового переділу або відділення просочення при вмісті вологи не більше 0,3% і в спучуваності не більше 15%. Стабільність властивостей пеку, що подається на дозування, багато в чому визначається стабільністю температурного режиму напірних баків.

Основне призначення - витримка пеку при температурі, що використовується на "зеленому" переділі - це стабілізація його властивостей в даному температурному інтервалі.

У виробництво пек надходить через сітчастий фільтр (комірки розміром 1 мм). У бачках, що обігріваються, стабілізації (напірні бачки), оснащених мішалками, осереднюється температура циркулюючого в них пеку. При досягненні заданої температури пек з бачка стабілізації через дозатор подається в змішувачі [2].

3.3 Підготовка фракційного складу наповнювачів

Сировинні матеріали, що надходять на завод, повинні відповідати вимогам чинних стандартів та технічних умов. Сировину завантажують до критого складу на спеціально обладнані майданчики окремо за видами.

Умови зберігання сировини повинні виключати можливість її забруднення та змішування різних її видів.

Операції дроблення, подрібнення та гуркотіння наповнювачів є широко поширеними та вельми енергоємними у процесі підготовки фракцій будь-яких матеріалів. Дроблення та подрібнення в будь-якому виробництві не є ланками технологічних процесів, а є лише підготовчими операціями.

У електродному виробництві технологічні процеси дроблення та подрібнення виконують основну мету – скорочення лінійних розмірів наповнювачів та забезпечення у достатній кількості сортових фракцій наповнювача, необхідних для складання виробничих рецептур.

Різноманітність фізико-механічних властивостей та розмірів шматків наповнювачів та різних вимог, що висуваються до продуктів дроблення, зумовили різноманіття типів дробарок. У виробництві електродної продукції весь процес отримання різних класів можна розділити на велике (попереднє) дроблення, середнє дроблення та тонке подрібнення.

Для великого дроблення (700-100 мм) використовують щокові та зубчасті дробарки. Для середнього дроблення (15-0,5 мм) застосовують конусні, молоткові та валкові дробарки.

Більш тонке дроблення найчастіше називають подрібненням. Для подрібнення використовуються кульові та вібраційні млини. Величина подрібнення становить від 0,5 мм і менше.

Класифікація наповнювачів за фракціями. Класифікація – це поділ подрібненого матеріалу за фракціями, до складу яких входять зерна, ближчі за розмірами, ніж у вихідній суміші. На електродному заводі для класифікації використовують гуркіти різних типів: вібраційні, плоскі хитаються, барабанні та колосникові.

Матеріал, що надходить на гуркіт, називається вихідним, що залишається – надгратним (верхнім) продуктом, що провалюється через отвори сита – підгратовим (нижнім) продуктом.

На ефективність гуркотіння суттєво впливають вологість матеріалу, форма отворів сит, нахил сит, швидкість руху зерен по ситу, амплітуда та частота коливань короба віброгуркотів. Нахил сита та швидкість руху зерен по ньому підбирають залежно від матеріалу [2].

3.4 Технологія підготовки електродної маси

Приготування електродної маси складається з багатьох складних технологічних циклів, що взаємопов'язані між собою послідовністю всіх операцій, а також дотриманням заданих параметрів ведення кожної конкретної операції.

Процес приготування електродної маси полягає в перемішуванні та нагріванні сипких компонентів наповнювача, введення сполучного та змішування його з шихтою.

Дозування сировинних матеріалів виконують двома способами – за масою чи обсягом. Дозування за обсягом застосовують у виробництві вуглецевих мас на змішувачах безперервної дії. Об'ємне дозування пеку здійснюється рідинними дозаторами ДЖА-20/2,5, дозування крупки – гвинтовими живильниками ПВ-200Е1, подача аспіраційного пилу та тонкого помелу – шлюзовими живильниками ШП-400Е. Подана шихта збирається та транспортується до безперервного змішувача шлаковим гвинтовим конвеєром. Спосіб об'ємного дозування найбільш простий у реалізації. Однак він не забезпечує високої точності дозування, оскільки маса дозованого матеріалу залежить від об'ємної щільності.

Останнім часом у зв'язку з зростанням вимог до якості електродної продукції велике поширення отримав перший, більш точний спосіб - вагове дозування компонентів шити і сполучного. Точність дозування фракції коксу і сполучного відповідно до прийнятого рецепту та у поєднанні з точністю гранулометричного складу наповнювача відіграє важливу роль у забезпеченні стабільності властивостей готової продукції.

Для дозування пеку застосовують індивідуальні дозувальні бачки, підвішені на тензометричний вимірювальний пристрій (пекові дозатори). Система дозволяє контролювати необхідну кількість сполучної речовини.

Дозування сухих компонентів шихти провадиться за допомогою дозаторів шихти [1].

Мета змішування – отримання маси як однорідної суміші, здатної добре сприймати пластичну деформацію.

Приготовлена суміш компонентів наповнювача зі сполучною характеризується механічною та структурною однорідністю. Механічна однорідність досягається перемішуванням сипких компонентів за порівняно короткий час (5-10 хв). Після введення сполучного механічна однорідність досягається в результаті багаторазового поділу маси та рівномірного розподілу пеку за обсягом змішувача. У міру підвищення температури суміші та зростання рухливості сполучного внаслідок інтенсивних зрушень деформацій настає структурна однорідність, але маса ще не придатна до деформування, потрібен додатковий час на рівномірний розподіл у ній пластичних властивостей. На цьому, заключному етапі змішування зерна наповнювача обволікаються плівкою пеку, пек заповнює мікропори коксу, витісняючи з них повітря.

Електродну масу готують у змішувачах періодичної дії. Найбільшого поширення набули двороторні змішувачі періодичної дії із зетоподібними лопатями місткістю 2000 літрів з паровим обігрівом та нижнім вивантаженням. Змішувальна машина складається з двох обертових у протилежних напрямках роторів, розташованих у коритоподібному броньованому днищі з двох напівциліндрів. Напівциліндри розділені по середній лінії литим гребнем, що знімається. У змішувачі відбувається змішування і одночасне поділ маси, що забезпечується напрямом обертання ротора на гребінь, що розділяє. У кришці передбачені люки для завантаження сухих компонентів: шихти, пеку, видалення летких речовин

та пилу, а також оглядовий люк. Маса вивантажується через люк у днищі змішувача, що має гідравлічний привід.

Технологією змішування електродних мас передбачено наступний порядок роботи. Перед пуском обладнання встановлюють тиск пари 0,25…0,35 МПа, що забезпечує прогрівання корпусу сумішей до t 130…140 °С, контролюючи температуру паропроводів на вході та виході з машини. Якщо різниця температур становить 3-5°. Це свідчить про нормальний режим обігріву. За більшої різниці температур потрібне регулювання лінії скидання конденсату.

У розігріту змішувальну машину вводять суху шихту і нагрівають її протягом 15-20 хв, після чого додають розплавлений до 135-140 °С кам'яновугільний середньотемпературний пек. Час додавання пеку має бути забезпечено рівномірне зростання завантаження електродвигунів. Час зливу пеку не повинен перевищувати 10 хв, оскільки потрібно збільшення загального часу змішування маси.

Після змішування внаслідок підвищеної температури маса формується із недостатнім ступенем ущільнення. Тому потрібне її охолодження до температури формування.

Якщо контейнер преса завантажується маса з кількох змішувальних машин, то додатково виникає необхідність у усередненні маси за властивостями.

Для одночасного охолодження і усереднення використовують барабанні охолоджувачі, що являють собою трубу, що обертається. На внутрішній поверхні труби по гвинтовій лінії встановлені ребра. Обертання барабана реверсивне з трьома швидкостями. Маса охолоджується повітрям, що пропускається всередині барабана, в якому вона охолоджується [1].

3.5 Опис та параметри технологічного процесу

Для отримання електродних заготовок високої якості потрібен правильний вибір температурно-швидкісних та силових умов деформації. Технологічний режим пресування в основному визначається: температурою розм'якшення сполучного, що застосовується; асортиментом заготовок, що пресуються; раціональним співвідношенням температури маси, що пресується, контейнера і мундштука.

Застосування сполучного з підвищеною температурою розм'якшення призводить не тільки до зростання тиску пресування, але й до підвищення температурного режиму пресування. Тиск пресування визначається гранулометричним складом маси та кількістю сполучного, а також суттєво залежить від температури. Маси, що завантажується в прес, яка в основному визначається розмірами пресованих виробів і режимом обтиснення: чим більший розмір виробу і нижче ступінь деформації, тим нижче потрібна температура мас, що пресуються. Це зумовлено необхідністю збереження геометричних розмірів гарячих заготовок.

Температурний режим пресування великих електродних заготовок регулюється лише з зон пресування. Для блочної продукції необхідно додатково створити певне температурне поле по периметру калібру, що досягається установкою спеціальних електричних обігрівачів. При цьому прагнуть того, щоб утворилися різниця температур до 10-30 °С між кутами та серединою сторони блоку.

Для пресування електродних заготовок застосовують гідравлічні преси. За конструкцією гідравлічні преси бувають вертикальні та горизонтальні. Вертикальні гідравлічні преси застосовують для пресування виробів у прес-формах (матрицях) двома методами – одностороннім та двостороннім. Двостороннє пресування забезпечує більш рівномірну щільність пресування виробів. Основне призначення вертикальних пресів

на електродному заводі – пресування анодів для алюмінієвих електролізерів, а також заготовок та виробів із конструкційного графіту [5].

Виливніца заповнюється масою рівня (10-20) мм нижче верхньої кромки. На гарячу масу (безпосередньо після вивантаження із суміші), що знаходиться у виливниці, встановлювати за допомогою тельфера вантаж для вирівнювання верхньої поверхні блоку. Забороняється повернення у виливницю маси, що впала на підлогу за межі виливниці під час її заповнення.

Виливницю з масою за допомогою вантажопідйомного механізму перемістити на майданчик для остигання на повітрі або у ванну з водою. Тривалість охолодження від моменту завантаження маси до моменту вилучення блоку повинна бути:

- не менше 8 годин при охолодженні на повітрі;
- не менше 4 годин при остиганні у ванні з водою.

Допускається охолодження виливниці масою водою із шлангу (труби).

Охолоджені блоки виймають з виливниці вантажозахоплювальним стропом типу 7СК-0,2/ОВ-1 або іншим вантажозахоплювальним пристроєм, розробленим ПКО та затвердженим у встановленому порядку.

3.6 Технічні вимоги, методи контролю та маркування блоків електродної маси

Фізико-механічні показники електродної маси повинні відповідати вимогам, зазначеним у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Функціональні характеристики електродної маси

Показники	Одиниці виміру	Значення
Межа міцності на розрив	МПа	Не менше 1,8
Коефіцієнт плинності		**1,4-2,8**
Питомий електроопір	мкОм·м	80
Вміст золи	%	Не більше 6

Блоки приймаються партіями. За партію виробника приймається кількість блоків загальною масою не більше 40 т .

Для визначення межі міцності на розрив, питомого електричного опору, вмісту золи, межі міцності на стиск виробляти відбір проб масою (7-8) кг від перших п'яти замісів партії і формувати об'єднану пробу (35-40) кг. Об'єднану пробу ділити на частини. Одну частину об'єднаної проби доставляти в ІЛ, іншу - залишати як контрольну. Результати апробування поширюватимуть на дві наступні партії кожного туру виготовлення.

Туром виготовлення вважатиметься кількість маси, зазначена в контракті на поставку.

Відбір проб визначення Кт і виходу летких проводити від кожного замісу. Маса проби не менше 3 кг. Місце відбору проб – змішувальна машина.

Значення показника Кт, визначене ІЛ, є остаточним і повторна проба не відбирається.

Визначення значень показників проводити відповідно до ТУ У 14-10-023-98 та діючих методик.

При виготовленні блоків за вимогами ТУ У 14-10-023-98 кожного замісу для визначення виходу летких речовин відбирати пробу масою не менше1 кг та формувати загальну змінну пробу. Загальну змінну пробу після поділу ділити на дві частини. Одну частину доставляти в ІЛ, іншу - залишати як контрольну.

У сертифікаті якості вказувати значення показника мін-мах.

Розміри блоку наводяться на рисунку 3.1. Діаметр блоку, розміри та розташування отворів для вантажозахоплювального пристрою забезпечуються конструкцією виливниці і не контролюються.

Контроль висоти блоку маси проводиться рулеткою Р5У2К за ДСТУ 4179-2003 (ГОСТ 7502-98) у площині осі симетрії паралельно утворює циліндра у двох взаємно паралельних напрямках. Похибка виміру +5 мм.

Зважування кожного блоку маси здійснюється за допомогою кранових ваг з похибкою ±4 кг.

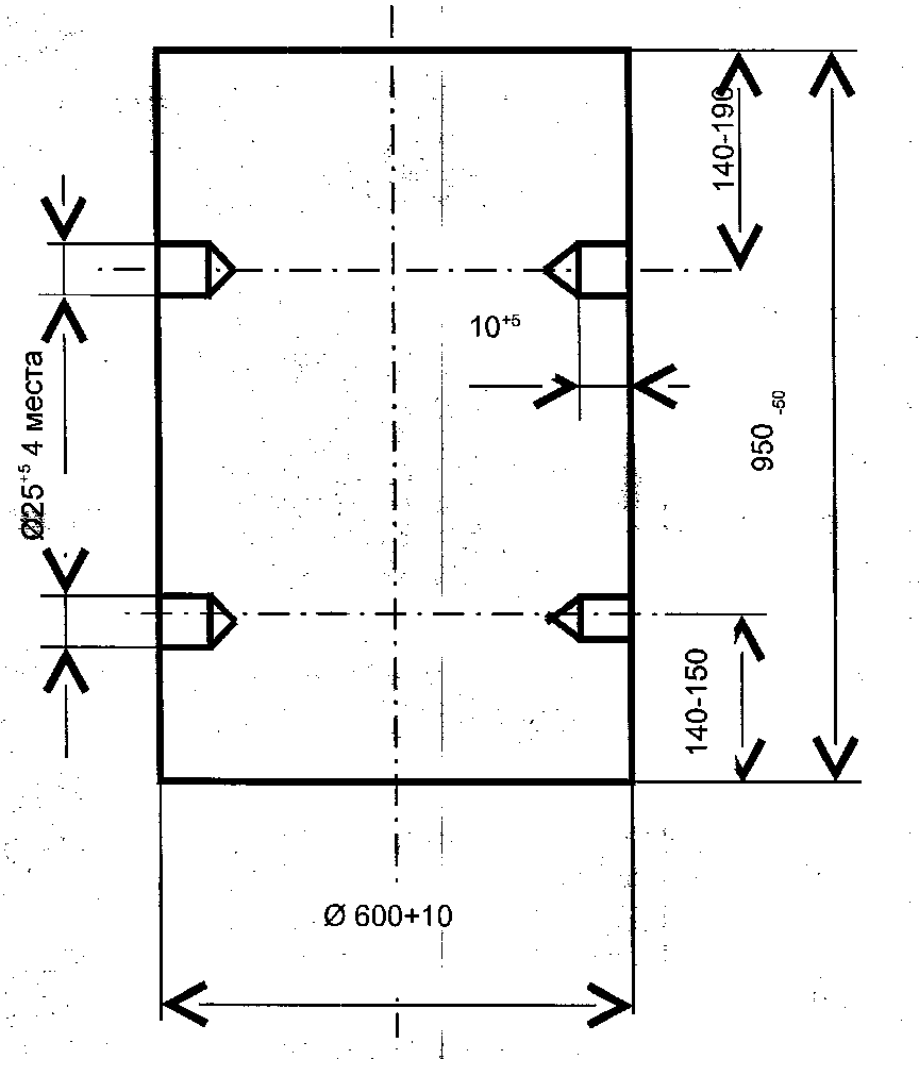


Рисунок 3.1 - Форма та геометричні характеристики блоку електродної маси

На поверхні блоку допускаються:

- олійні плями;

- фарбування зерен наповнювача (термоантрациту) та нещільності;

- сколи глибиною не більше50 мм довжиною та шириною не більше100 мм;

- сліди від знімних вантажозахоплювальних пристроїв;

- поглиблення від усадки маси при охолодженні розміром не більше100 мм.

Після вилучення блоку з виливниці на верхньому торці крейдою нанести номер партії, порядковий номер замісу та масу блоку.

На бічній поверхні блоку, приблизно на відстані (200-250) мм від верхнього торця, фарбою білого кольору, що не змивається, через трафарет наносити напис "UGC" і порядковий номер блоку. Порядковий номер блоку наносити під написом "UGC" на відстані 40-50 мм.

Маркування, що характеризує упаковану продукцію, наноситься на етикетку у вигляді аркуша паперу формату А4 у заламінованому стані. Етикетку вкладати між шарами плівки під час упаковки блоків на кожному піддоні. Етикетка має містити дані, зазначені у контракті.

Кожен контейнер повинен супроводжуватись окремим сертифікатом якості із зазначенням гарантованих значень показників відповідно до таблиці 3.1.

3.7 Вибір матеріалу для виготовлення дроселя

При першому підході до проблеми видається, що ідеальним матеріалом для дроселя має бути вогнетриви які навіть за високих температур зберігають свої електроізоляційні властивості (тільки магнезит при нагріванні до 1800 °С стає досить електропровідним). У цьому випадку дросель надійно був би виключений з електричного кола між двома електродами, що і потрібно для дроселювання електричного струму в печі при переході його з верхнього на нижній електрод. Але, вартість такого дроселя буде досить високою.

Практично всі вогнетриви, з якими має справу пірометаллургія, виготовляються із оксидів. Це насамперед оксиди алюмінію, кремнію, хрому, магнію, цирконію і т.п. Природно, що в умовах високих температур (> 2000 ° С) та відновної атмосфери в печі вуглець антрациту буде активно

руйнувати будь-який з перерахованих вогнетривів. Тому від використання вогнетривів для виготовлення дроселя довелося відмовитися.

При ретельному аналізі процесів переміщення в замкнутому просторі сипучих матеріалів, яким є шахта електрокальцинатора, було звернено увагу на природу дисперсної системи. Дуже цінним представлялася властивість дисперсної системи при пересипанні подрібненої маси з бункера в ємності габарити якого набагато перевищують отвір у бункері. Адже таким чином можна механічно розділити вугільну масу по всьому перерізу шахти електрокальцинатора, за винятком центрального отвору в дроселі, розірвати безперервність потоку сипучого електроводного середовища на значній периферійній частині площі поділу шахти і домогтися того, що створювалося б природним чином при використанні електроізоляційного вогнетриву. Якщо виготовити дросель з вуглецевого матеріалу, термостостійкість якого, до речі, набагато перевищує ту саму характеристику вогнетривів, то можна буде розірвати електричний ланцюг у тому перерізі шахти печі, де розташований дросель. Електричний ланцюг по вугільній масі між наддросельним та піддросельним простіром печі в цьому випадку буде збережено тільки в отворі дроселя. Таким чином, використовуючи природу поведінки сипучого тіла, ми створюємо умови для роботи дроселя, виготовленого з електропровідного матеріалу, що має рівнозначні умовам роботи дроселя з електроізоляційного матеріалу.

Проаналізувавши всі дані, було вирішено виготовляти дроссіль з вугільного матеріалу, у складі якого переважаєв би антрацит, який пройшов заздалегідь відповідну термічну обробку.

Для цієї мети був використаний один з матеріалів блоків доменних печей (ДБУ), що виготовляються по технічним умовам ТУ 31.6-0019604-025-2004. Матеріал цих блоків складається з 90 мас. газопечного термоантрациту та 10 % мас. кам'яновугільного пеку. Особливо цінним був визнаний матеріал марки ДБУ-А, теплопровідність якого при 200 °С досягає 18 Вт/м·К, що є доцільним для відведення теплоти з внутрішніх обсягів

дроселя до периферії. Слід зазначити, що цей матеріал має і деякі вади. Через низьку пластичність шихтової маси на поверхні блоків у момент формування утворюються дрібні тріщини. За зазначеними вище технічними умовами допускається не більше двох тріщин на кожній поверхні блоку завглибшки від 0,3 до 0,5 мм та довжиною від 50 до100 мм.

В подальшому було намічено розробити для цієї мети спеціальний вугільний матеріал, маючи на увазі, що до матеріалу дроселя не пред'являються вимоги будь-якої електропровідності. У зв'язку з цим для матеріалу дроселя можуть бути використані термоантрацити найнижчої якості. Важливо лише те, що при термообробці сирого антрациту прожарити останній потрібно настільки, щоб видалити з нього леткі компоненти та виключити в подальшому його усадку.

Крім того, у розроблюваному матеріалі вміст антрациту має бути максимально збільшено, аби тільки шихтовий матеріал був досить пластичним при формуванні необхідних блоків-заготовок і можна обробити обпалені блоки наявним у розпорядженні заводу інструментом. При розробці нового матеріалу для дроселя необхідно створити такий матеріал, який би мав оптимальну для даної роботи теплопровідність, що забезпечує необхідне відведення теплоти з центральних областей дроселя, що контактують з розпеченим вугіллям. Цим самим була б виключена небезпека шунтування електричного струму по стінках циліндричного простору дроселя внаслідок зниження електроопіру матеріалу зі зростанням температури.

Виготовляти дросель із графітованого матеріалу також недоцільно, хоча його набагато легше обробляти, ніж вугільний матеріал. Слід пам'ятати, що антрацит який рухається по дроселю — матеріал дуже твердий і має високі абразивні властивості. Виготовлений із графіту дросель зношувався б надзвичайно швидко. Крім того, безсумнівно, графітовий дросель поглинав би значну частку електричного струму, що протікає по антрацитовій шихті в циліндричній порожнині дроселя.

Важливим міркуванням при виборі матеріалу дроселя була також та обставина, що завод має великий досвід у виготовленні таких деталей. На заводі є відповідне верстатне обладнання та інструментальне господарство, є досвід виготовлення конструктивно подібних виробів для футерування лещаді доменних печей.

Конструктивно дросель є крупногабаритним вироб із зовнішнім діаметром 1950 мм та заввишки 1500 мм. Для зручності його виготовлення та монтажу в електрокальцинаторі останній має складатися з кількох секторів.

3.7.1 Дроселювання потоку вугільної маси в шахті печі

Однією з умов вирішення проблеми однорідності властивостей термоантрациту, який одержують в печах прожарення шахтного типу, є перемішування вугілля. Таке завдання не стоїть перед операторами барабанної обертової печі, так як у цих печах вугілля відпалу інтенсивно і безперервно перемішується. Ефект перемішування вугілля в барабанних печах досягається шляхом затрати чималої енергії на обертання величезної маси прожарювального та охолоджуючого барабанів печі, заповнених антрацитовою шихтою.

У шахтних печах, як показали проведені досліди, можна досягти суттєвого ефекту перемішування сипучої маси, не витрачаючи жодної кіловат-години електроенергії, а використовуючи енергію гравітаційного поля Землі.

Спроби вирішити таким шляхом проблему перемішування вугільної шихти робилися неодноразово і раніше. Запропоновані раніше рішення виявилися невдалими, тому що запатентовані пристрої являли собою невеликі виступи на футеровці печі, які, по-перше, були перешкодою на шляху переміщення вугільної шихти зверху униз і коливали потік подрібненого вугілля тільки в периферійному шарі, по суті, в мізерному обсязі шихти поблизу виступу на футеровці. Основна маса шихти

залишалася не перемішаною. По-друге, ці виступи з вогнетривкого матеріалу були недовговічні, вони швидко руйнувались при високій температурі у відновлювальній атмосфері печі. Потрібні були інші кардинальні рішення.

Створений спеціальний пристрій у вигляді вугільної дросель-шайби дозволяв вирішувати ці проблеми. Таке рішення представлялося вкрай раціональним, оскільки перемішування вугільної маси в ньому здійснювалося б без будь-яких витрат енергії ззовні. Теоретичною основою ефекту перемішування вугілля є надання зернам антрациту за допомого дроселя, крім вертикальної, горизонтальної складової руху, чого можна легко домогтися, якщо організувати рух маси вугілля по похилій поверхні дроселя.

Переміщення сипучої шихти з верхніх горизонтів печі до низу повз дросель незмінно відбуватиметься під дією сили гравітаційного поля Землі. Правильно обрані кути конусних поверхонь дроселя викличуть ефект перемішування сипучої суміші без утворення застійних зон вугілля і без істотного зносу верхньої поверхні дроселя.

Другою, не менш важливою, ніж перша, функцією дроселя є створення в печі додаткової зони нагрівання термоантрациту.

При пересипанні шматкового матеріалу певного фракційного складу входить частковий поділ суміші за фракціями [15]. Зерна великої фракції, виходячи з отвору в бункері, у міру формування конуса природного укосу сипучої маси разом з усією сумішшю зосереджуються на бічній поверхні конуса і тим самим збагачують периферійні ділянки основи конуса великою фракцією. Зрозуміло, при цьому збагачуються дрібними фракціями внутрішні ділянки конусної основи.

Цей механізм поділу сипких сумішей проявляється особливо чітко, якщо вугільну суміш пересипають із бункера в шахту печі постійного діаметра, що й цікавить автора. Чим різноріднішою фракції суміші, тим помітно проявляється цей ефект - чим більше довжина відвалу, тим довше

утворюється конус відвалу та більше ефект розділення. Зазначений ефект настільки великий, що на периферії основи конуса знаходяться у два рази більше зерен великих фракцій, ніж було в суміші [15].

У зв'язку з викладеним, щоб уникнути прояву ефекту поділу сипучої суміші, необхідно прагнути звуження фракційного складу антрацитової шихти. У той же час для електрокальцинатора, як це не дивно, виявлений ефект може виявитися корисним, бо великі фракції вугілля на периферії шахти печі підвищуватимуть у цьому місці газопроникність стовпа шихти в порівнянні з центральними обсягами стовпа. Підвищена газопроникність шихти покращує конвективну температуру передачи від гарячих газів, що прямують знизу на колошник. Неважко зрозуміти, що це корисно з погляду рівномірності температурного поля стовпа шихти в шахті печі.

Установка дроселя на електрокальцинатор призводить до того, що дроселюється не тільки потік матеріалу, але і електричний струм. Останнє означає, що щільність електричного струму у вугільній шихті в момент її проходу через звуження в шайбі (дроселі) значно зростає. Це неодмінно веде до істотного росту нагріву антрациту дроселя, і оперативним управлінням струмом печі. Останнє є дуже важливим.

Антрацит, що знаходиться в циліндричному просторі дроселя діаметром D і висотою H (див. рис. 3.1), можна розглядати як чисто омічне навантаження, так як в цьому просторі знаходиться антрацит, що пройшов перший осередок нагріву в поделектродному просторі верхнього електрода, і тому останній має достатньою електричною провідністю. Щоб забезпечити не тільки перетікання струму з одного електрода на інший, але й безпервного протікання струму по всій порції шихти, що знаходиться в циліндричному просторі дроселя, за винятком явища каналізації шляхів електричного струму в масі вугільної шихти.

Об'єм аналізованого циліндричного простору складає - $\pi D^2 h/4$. Враховуючи насипну щільність термоантрациту d, знайдемо масу термоантрациту в аналізованому просторі.ве - $\pi D^2 hd/4$. Знаючи годинну

продуктивності печі Р, можна визначити час τ, протягом якого кожна порція вугілля находиться в циліндричному просторі дроселя:

$$\tau = \pi D^2 h \frac{d}{4P} \tag{3.1}$$

де D - діаметр циліндричного простору в дроселі, мм;

d - насипна щільність термоантрациту, г/см^3;

P - годинна продуктивність печі, кг/год.

За цей час вугілля при проходженні по ньому електричного струму силою I отримає W джоулевої енергії, що дорівнює $I^2 R\tau$,де R=4ph/πD^2. Неважко здогадатися, що р - питомий електричний опір термоантрацитової шихти заданого фракційного складу при температурі трохи нижче 2000 °С.

Таким чином, тепловий баланс порції антрациту, укладеної в циліндричному просторі дроселя, можна представити наступним рівнянням:

$$\frac{4\pi\rho h^2 D^2 dI^2}{4\pi D^2 P} = \frac{\pi D^2 h d c_p T}{4} \tag{3.2}$$

де ρ - питомий електричний опір антрациту, мкОм·м;

Р - годинна продуктивність печі, кг/год;

c_p - тепломісткість термоантрациту при постійному тиску, Вт·ч/кг·град;

I - сила струму ведення процесу, А.

Після нескладних перетворень отримаємо залежність температури термоантрациту від струму печі:

$$T = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{hp}{D^2 P c_p} \cdot I^2 \tag{3.2}$$

Таким чином, температура, до якої вугілля нагріється за час перебування його в циліндричному просторі дроселя, визначається головним чином силою струму, оскільки остання входить у формулу

квадраті. Варто підвищити силу струму на 41 % щоб температура термоантрациту в порожнині дроселя підвищилися вдвічі.

Дуже важливо те, що при встановленні дроселя в піч з'являється можливість керувати роботою електрокальцинатора за допомогою основного параметра технологічного печі - сили струму. Печі звичайної конструкції сила струму як засобом управління ходом прожарювання вугілля не використовується, так як зміна сили струму практично не впливає на температуру вугілля. З підвищенням сили струму розширюється обсяг першої зони нагріву, а температура вугілля практично залишається незмінною. У зв'язку з цим у печах існуючої конструкції, якщо хочуть змінити температуру прожарювання вугілля, змінюючи дозу вивантаження готового термоантрациту. Зазвичай процес прожарювання вугілля проводять так: встановивши певне значення струму, регулюють перебіг печі, змінюючи дозу вивантаження термоантрацита, що рівносильно зміні Р.

Зі сказаного вище неважко зрозуміти, що дросель у печі дозволяє швидко і ефективно впливати на температуру прожарювання антрациту за допомогою струму печі, тому що при підвищенні сили струму *I* лише на 22 % температура вугілля зростає в 1,5 рази. У той же час в електрокальцинатор без дроселя для досягнення того ж ефекту слід зменшити дозу вивантаження термоантрациту на 67%.

Аналіз отриманої залежності (3.2) показує, що так само ефективно, як сила струму печі, на температуру відпалу впливає діаметр отвору в дроселі D. Зменшивши діаметр отвору в півтора рази, можна підвищити температуру відпалу в 2 рази. Однак цим параметром можна скористатися лише за капітального ремонті печі, коли викладається нове футерування. У той же час, варіюючи силу струму, можна змінювати температуру, протягом кожного процесу прожарювання.

Зміна та сили струму *I*, і діаметра *D* веде до зміни питомої щільності струму в циліндричному просторі дроселю. Цим і пояснюється такий

сильний вплив цих параметрів на температуру прожарювання. Висота циліндричної частини дроселю *h* впливає на тривалість процесу нагрівання; це кінетичний фактор. Змінюючи його значення, слід пам'ятати, що при збільшенні *h* зростає небезпека шунтування шляху струму по дроселю, матеріал якого так само електропровідний, як і вугільна шихта, однак має нижчу температуру, ніж вугілля в дроселі.

Отже, температура нагрівання термоантрацита в дроселі визначається як конструктивними параметрами дроселя (D і h), і технологічними (I і P).

На залежність температури термоантрацита від сили струму печі впливають також властивості, матеріалу, що нагрівається: питомий електроопір ρ та питома теплоємність c_p.

Таким чином, якщо розглядати певний електрокальцинатор, що працює на сирому антрациті стабільної якості (мається на увазі якість самого вугілля та його фракційний состав), то при заданій продуктивності печі рівняння (3.2) можна розглядати як «постійну» печі, а весь процес прожарювання вести за значенням струму печі.

При складанні теплового балансу не враховувалися втрати теплоти в циліндричному просторі з вугілля в тіло дроселя. Очевидно, на початку процесу нагрівання вони будуть великі, а потім при досягненні теплового насичення дроселя істотно зменшуються. На рисунку 3.2 представлені результати розрахунку температури нагріву вугілля в дроселі за різних теплових умов: крива 1 — ідеальний випадок відсутності теплових втрат, криві 2 та 3, відповідно, при втратах 10 та 20 % загальної кількості джоулевої теплоти електроконтактного нагрівання термоантрациту. При розрахунку було прийнято, що P = 1000 кг/год, а c_p при високих температурахрах поданим [13] становить 0,47 Вт ч/кг град. З малюнку 3.2 видно, що:

- температура термоантрациту, укладеного в циліндричній порожнині дроселя, зі зростанням сили струму підвищується інсивно;

• втрати тепла із зазначеного обсягу вугілля в тіло дроселя слабо позначаються на вкладі джоулевої теплоти у вугілля, що особливе помітно за низьких температур;

• чітко проявляється висока ефективність нагріву вугілля в дроселі: для досягнення 2000 °С достатньо подати в піч лише 8 кА; або: щоб підвищити температуру прожарювання вугілля з 1800 до 2000 °С, достатньо збільшити струм печі лише на 5%. Нагадаємо, що розробники печі (ОКБ "Сибелектротерм") рекомендували працювати на струмах 15...16 кА.

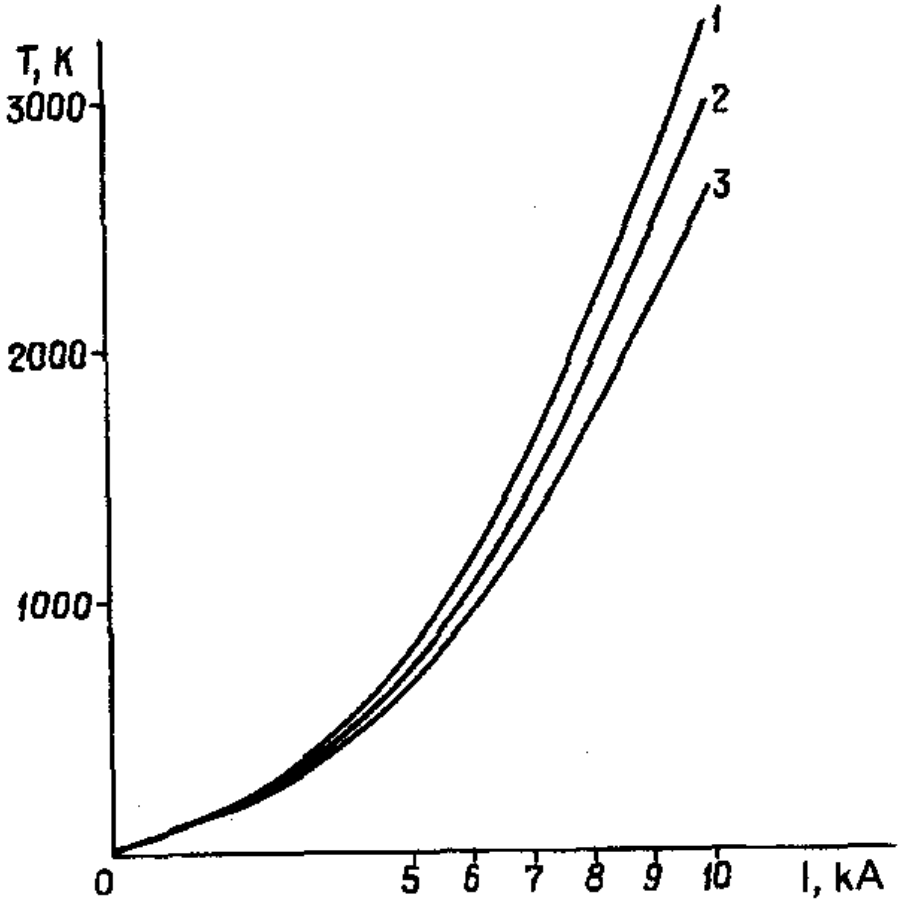


Рисунок 3.2 – Розрахункова залежність температури термоантрациту від сили струму, що подається в піч

Судячи з даних рис. 3.2, тепловий опір матеріалу дроселя досить великий, тому температура нагрівання термоантрациту в дроселі слабо залежить від втрат теплової енергії через тіло дроселя.

Оціночний розрахунок теплових втрат у тіло дроселя, виконаний за умови температур на внутрішній стінці дроселя 2000 °С і 500 °С (за даними прямого експерименту) показав, що значення вказаних втрат не перевищує 10% в умовах встановленого режиму нагріву.

Установка дроселя в електрокальцинатор, крім всіх розглянутих вище ефектів, створює новий оперативно регульований осередок рівномірного нагрівання термоантрацита в межах циліндричного простору дроселя і всієї маси вугілля.

Крім перемішування вугільної шихти та досягнення однорідності нагрівання вугілля, встановлення дроселя в електрокальцинатор, на думку автора, відкриває можливість автоматизувати роботу електрокальцинатора. З цією метою завод планує у найближчому майбутньому відпрацювати вузол безконтактного вимірювання температури термоантрациту на виході з дроселя та розробити алгоритм автоматичного режиму роботи печі – управління силою струму печі із підтримкою на заданому рівні температури вугілля на виході з дроселя.

3.7.2 Вибір технологічних режимів роботи реконструйованого електрокальцинатора

Для отримання електродного термоантрациту, що задовольняє вимогам республіканського стандарту ДСТУ 3408-96 і за значенням УЕС термоантрациту, і за однорідністю властивостей партії вугілля, на електродному заводі ВАТ «Український графіт» сирий антрацит у печах рутинної конструкції зазвичай прожарюють двічі, але на половинній потужності печі. Типові режими кальцинації в цьому випадку такі: сила струму в печі 7...8 кА, що еквівалентно потужності 500...600 кВт, напруги на електродах 55 ... 60 В, а продуктивність при цьому становить 500 ... 550 кг/год При цьому питома витрата електроенергії, як зазначалося вище, 1100...1300 кВт·ч/т.

Як показала дослідна експлуатація з кінця 2023 р. реконструкції печі з дроселем, остання цілком може працювати на різних режимах. Насамперед, це стосується електричної потужності печі, яка нижча, ніж у печі звичайної конструкції, і становить 450...550 кВт. Що ж до дози вивантаження термоантрациту, то про це слід сказати особливо. Маса дози в жодному разі не повинна перевищувати масу вугілля, що заповнює одноразово циліндричний об'єм дроселя. З наведених вище математичних розрахунків зазначена маса вугілля дорівнює $\pi D^2hd/4$; для наший конкретної печі це 250 кг, Що набагато вище доз, які використовує завод в даний час. Для поєднання маси дози та потужності можуть змінюватись за бажанням технологів цеху. Якщо оператор печі дотримуватиметься цього правила, то однорідність властивостей прожареного антрациту буде завжди високою.

До сказаного слід додати, що великий обсяг циліндричного простору дроселя дозволяє підняти продуктивність електрокальцинатора навіть вище за вказану в паспорті (2 т/год).

З практики відомо — чим вища температура прожарювання вугілля, тобто чим вища потужність електрокальцинатора, тим краща якість термоантрацита який отримують (вище його електропровідність, нижче значення УЕС).

Було проаналізовано 131 пробу термоантрациту, отриманого в реконструйованій печі за один прохід вугілля через піч, тобто в режимі одностадійної обробки за різних значень потужності печі. Готовий термоантрацит вивантажувався з печі кожні 5 хвилин по 60 кг (доза вивантаження). Проби термоантрацита для визначення його питомого електроопору відбиралися кожні дві години. Одночасно розраховувалася питома витрата електроенергії Р, що відповідає моменту відбору проби.

Аналіз представлених даних показує, що додавання $P \cdot p$ є більш менш постійною величиною - $(611 \pm 52) \cdot 10^3$, що представляє середнє арифметичне 131 показника роботи печі.

Незважаючи на проведення дослідів у заводських умовах, точність визначення додавання Р·р становить ±10,5%, що підстверджує існування такої залежності. Враховуючи, що питома витрата електроенергії в даному випадку вимірюється в кВт·ч/т, а УЕС отриманого в печі термоантрацита - мкОм·м, розмірність додавання є абсолютно незвичайною - кВт · ч · мкОм · м / т. Вона не має будь-якого фізичного сенсу та отримана суто емпірично.

У той же час сталість додавання Р·р говорить про гіперболічної залежності питомого електроопору *р* від питомої витрати енергії Р, що давно відомо з теорії процесів прожарювання антрациту — чим вища температура прожарювання вугілля, чим більше витрати енергії на прожарювання вугілля, тим менший питомий електроопір термоантрациту:

$$P \cdot p = K \qquad (3.3)$$

де Р - питома витрата електроенергії, кВт · год / т;

р - питомий електричний опір, мкОм · м;

К - постійна величина, рівна (611 ± 52) · 10^3 кВт · год · мкОм · м / т.

Незважаючи на невизначеність розмірності постійної К рівняння (3.3) дуже корисно для практики роботи на електрокальцинаторі.

Для визначення режимів роботи печі з метою одержання термоантрациту, УЕС якого не повинно перевищувати 800 мкОм·м, скористаємось рівнянням (3.3)

$$611000 / 800 = 763{,}75 \text{ кВт·год/т}$$

Це означає, що прожарювання антрациту в реконструйованій печі при потужності 720 кг/год необхідно вести на потужності:

$$763{,}75 \cdot 0{,}72 \approx 550 \text{ кВт } (U_{\text{печі}} \approx 55 \text{ В}, I_{\text{печі}} \approx 10 \text{ кА}).$$

Якщо ж потрібно отримати ЕТА з питомим електроопіром 500 мкОм·м, то робочі параметри печі, визначені тим же способом, складуть: $U_{печі} \approx 63$ В, $I_{печі} \approx 14$ кА.

Слід зазначити:

• вибір режимів роботи електрокальцинатора за рівнянням (3.3) стосується лише одностадійного прожарювання;

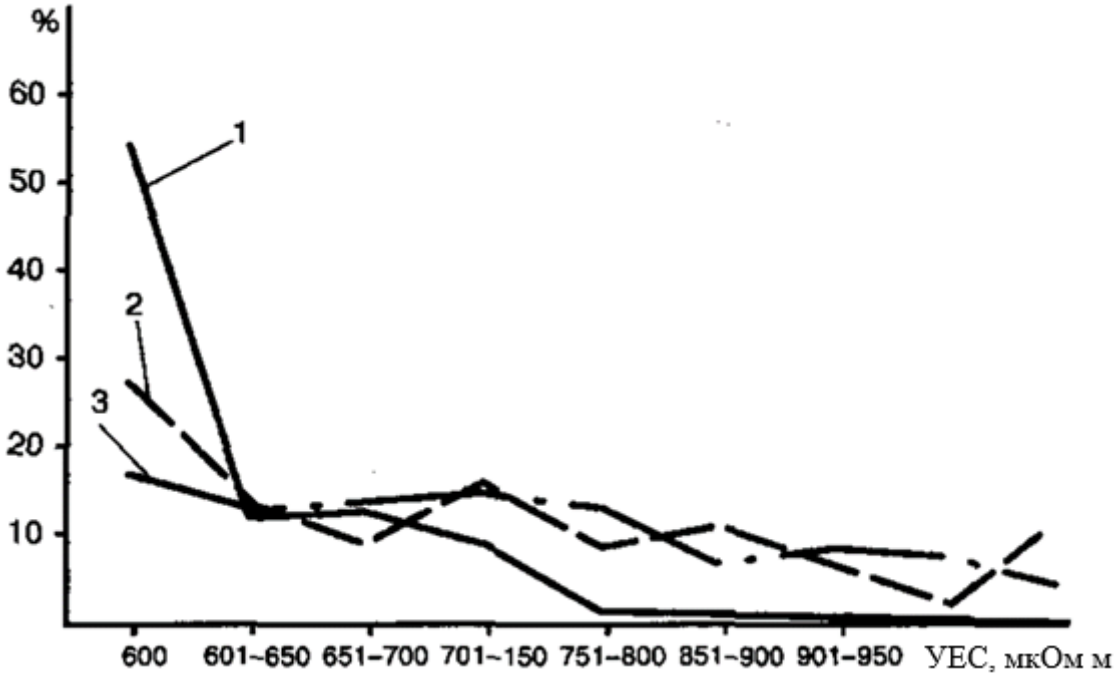
• знаючи, на яке значення УЕС термоантрацита встановлена піч, за рівнянням (3.3) легко визначити питому витрату енергії, яка забезпечить отримання продукту прожарювання з потрібним параметром. За значенням отриманого в розрахунку питомої витрати електроенергії вибирається сила струму, що проходить через піч, та електричне напруження на її електродах.

3.7.3 Якість ЕКА, що отримується в удосконаленому електрокальцинаторі

Уявлення про якість ЕКА, виробленого у реконструйованій печі, дає графік показників УЕС на рис. 3.3. У ньому наведено показники питомого електроопору термоантрациту - основного параметра якості цього електродного матеріалу. Одночасно з цією характеристикою дуже важливо знати, наскільки однорідний продукт прожарювання антрациту. З точки зору оцінки партії випущеного термоантрациту, але й для характеристики роботи електрокальцинатора як термічного агрегату для прожарювання вугілля. Чим краще працює електрокальцинатор, чим однорідніше температурне поле в ньому, чим повніше протікають процеси прожарювання в масі всієї вугільної шихти, незалежно від шматкових фракцій, тим краще піч і досконаліша її конструкція.

Однорідність властивостей електротермоантрациту, отриманого в реконструйованій печі з дроселем, визначали за показниками УЕС. Проби готового термоантрациту відбиралися через кожні 2 год роботи печі протягом доби при постійному значенні її потужності.

На графіці 3.3 показано, що термоантрацит, питомий електроопір якого менше 600 мкОм·м, у загальній масі вугілля становить більше половини. Крива 1 отримана при аналізі ЕКА, прожареного в реконструйованому кальцинаторі при одностадійному прожарюванні на режимі: Іпечі ≈ 10 кА, доза вивантаження 60 кг (0,72 т/год).



1 - реконструйований електрокальцинатор з дроселем; 2, 3 - електрокальцинатор звичайної конструкції

Рисунок 3.3 – Частотна характеристика УЕС ЕКА, отриманого в електрокальцинаторі

Для порівняння на тому ж рисунку наведено кращі показники 2 для ЕКА, отриманого в кальцинаторах при двостадійному прожарюванні вугілля в печах звичайної конструкції.

Вище було сказано, що для характеристики ЕТА часто вдаються до такого параметра продукту прожарювання антрациту, як вміст структури термоантрациту графітової складової. Цей параметр безпосередньо пов'язаний з УЕС термоантрациту: чим вищий вміст графітової складової у структурі ЕКА, тим вища його електропровідність і нижче значення УЕС.

Результати неодноразового аналізу протягом 1-2 діб у 2023 р. ЕКА, отриманого в реконструйованій печі, показали, що вміст графітової складової в макроструктурі прожареного антрациту найчастіше коливається не більше 4,0...7,0 %. Це означн вище від того, що знаходять у структурі ЕТА, прожареного в газових печах. У той же час у термоантрациті у вигляді фракції 20...25 мм виявляється і нижчий вміст графітової структури. Як загальний показник можна прийняти 6,3 ± 0,4 %.

Пікнометрична щільність ЕТА, отриманого в печі нової конструкції, характеризується досить високими результатами. Зазвичай це 1,90 ± 0,008 г/см^3 або 1,92 ± 0,02 г/см^3, що свідчить про високу істинну щільність отриманого вугільного матеріалу.

Вміст золи у прожареному куті, як показали результати його аналізу, ніколи не перевищувало 2,3%. Більшість проб містила 1,9...2,1 % золи. Середній вміст золи - 2,03 ± 0,23%.

Вміст сірки в ЕТА зазвичай пов'язано із зольністю, тому що не вся зв'язана сірка (особливо у вигляді FeS) може бути видалена навіть при високотемпературному нагріванні вугілля. У проаналізованих пробах середній залишковий вміст сірки складяє 0,55 ± 0,05%.

Висновок

При високотемпературній обробці антрациту відбуваються термічні процеси, Мета яких - отримати вуглецевий матеріал достатньої електропровідності, щоб надалі використовувати його як сировину у виробництві різних електродних виробів. Це, перш за все, обпалені катодні подові та бічні блоки алюмінієвих електролізерів, як найбільш масова продукція заводу, вуглецеві маси для електродів феросплавних печей та анодів алюмінієвих електролізерів.

Основним завданням при реконструкції електрокальцинатора було одержання товарного електротермоантрациту шляхом одностадійної термообробки. Отриманий за один прохід ЕТА при цьому повинен мати питомий електроопір не вище 1000 мкОм·м, а однорідність властивостей вугілля повинна бути таким, щоб не менше 50...60 % всього електротермоантрациту мало УЕС, що відрізняється не більше ніж на 100 мкОм. Усього цього необхідно було досягти за мінімальних витрат електроенергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

• перемішувати вугільну шихту в процесі її прожарювання з метою покращення якості та однорідності властивостей одержуваного елек-тротермоантрациту;

• добитися однорідного нагріву всієї вугільної шихти, яка рухається через піч;

• домогтися, щоб процес прожарювання антрациту керувався з пульта управління, що передумовою для наступної автоматизації процесу електрокальцинації антрациту. Бажано було вирішити всі три поставлені завдання одним пристроєм, щоб не ускладнювати надмірно конструкцію електрокальцинатора.

Встановлення в шахті печі дроселя дозволило нам вирішити одночасно всі поставлені вище завдання.

По-перше, проходячи через дросель, подрібнений антрацит рухається не тільки вертикаллю зверху вниз під дією сили тяжіння, але і по горизонталі від стінок до центру шахти печі. Такий характер руху кожного зерна вугілля необхідно було організовувати, не вдаючись до використання зовнішніх сил. Це можна зробити, якщо поставити по дорозі вертикального потоку подрібненої вугільної шихти похилу до вертикалі поверхню. Тоді окрема частка вугілля у своєму русі вниз отримає додатково горизонтальну складову руху, що і призведе до перемішування шматкової шихти.

По-друге, установка дроселя призвела до того, що вся без винятку вугільна шихта проходить через дросель, в циліндрічній частини якого вона піддається інтенсивному і однорідному електроконтактному нагріванню, час нагріву термоантрациту визначається продуктивністю печі та висотою циліндричної порожнини дроселя.

Установка дроселя на електрокальцинатор призводить до того, що дроселюється не тільки потік матеріалу, але і електричний струм. Останнє означає, що щільність електричного струму у вугільній шихті в момент її проходу через звуження в шайбі (дроселі) значно зростає. Це неодмінно веде до істотному росту нагріву антрациту дроселя, і оперативним управлінням струмом печі. Останнє є дуже важливим.

Основний показник якості ЕКА - УЕС, отриманого в електрокальцинаторі з дроселем, знаходиться в гіперболічної залежності від питомої витрати електроенергії. Хоча така залежність отримана суто емпірично, проте вона має під собою міцну теоретичну основу. Цей зв'язок вдалося виявити тільки тому, що в печі з дроселем весь без винятку термоантрацит проходить через дросель і нагрівається в ньому електричним струмом печі.

Тепер, маючи електрокальцинатор нової конструкції, випромінювання ЕТА, що відповідає вимогам ДСТУ 3408-96, можна витрачати близько 800 кВт/год електроенергії на кожну тонну антрациту. Це майже в півтора рази менше від того, що нині витрачає завод.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ І НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Характеристика ступеня безпеки процесу

Пропонована для модернізації удосконалена модель електрокальцинатора знаходиться у виробничому приміщенні цеху вугільних заготовок.

Велика кількість небезпек (переміщення вантажів, обертові частини механізмів і обладнання, рухомі стрічкові конвеєри, елеватори) вимагає особливої уваги й обережності з боку робочого персоналу.

Рівень механізації праці визначається шляхом відношення витрат праці до механізованого ручного праці:

(4.1)

де B – рівень механізації праці, %;

M – сума людино-годин механізованого праці (на зміну);

R – сума людино-годин ручної праці.

Дані розрахунків зводимо у таблицю 4.1.

4.2 Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів виробничого середовища

В цеху вугільних заготовок, на прокалочном дільниці технологічні операції відбуваються як безперервно, так і періодично. В цих умовах небезпечні та шкідливі виробничі фактори проявляють себе як постійно, так і періодично [16].

Таблиця 4.1 - Розрахунок рівня механізації робочих прокалочного відділення

№ п/п	Професія робочих	Штат робітників	Кількість відпрацьованих людино-годин у добу			% механізованого праці
			вручну	за допомогою машин	всього	
1	Механослужба	10	6	2	8	25
2	Електрослужба	11	6	2	8	25
3	КіП	4	7	1	8	12,5
4	Оператор електрокальцинатора	4	1	7	8	87,5
5	Прокальщик	8	2	6	8	75
6	Госпслужба	4	3,5	4,5	8	56,25
7	Всього	41	25,5	22,5	48	46,87

До постійно діючих небезпечним і шкідливим виробничим чинникам ставляться: теплові випромінювання (понад 350 Вт/м^2), запиленість, загазованість, електромагнітне випромінювання, вібрації.

До періодично чинним небезпечним і шкідливим виробничим чинникам ставляться: переміщення вантажів (великої кількості сировини, напівфабрикатів, готової продукції та відходів виробництва), обертові частини механізмів і устаткування, що працюють в запиленій середовищі при низьких або високих температурах, підвищене значення напруги в електричних ланцюгах. У цих умовах потрібно безумовне забезпечення безпеки виробничого устаткування, дотримання вимог ГОСТ 12.2.003-74 [17] і ГОСТ 12.2.049-80 [18]. Деякі небезпечні та шкідливі фактори можуть

переходити з однієї категорії в іншу. Результати вимірів запиленості та загазованості робочої зони наведені в таблиці 4.2.

Порушення і екстремальні відхилення (аварії) технологічного процесу і роботи обладнання призводить до прояву випадкових небезпечних і шкідливих факторів. До таких випадковим чинникам ставляться: раптовий прорив газопроводу, обрив силових електричних ліній, потрапляння сторонніх предметів у механізми устаткування і т. п.

На ділянці прожарювання антрациту джерелом загальної вібрації є вібрація підлоги та інших конструктивних елементів будівлі внаслідок роботи вантажопідіймальних механізмів, дробарок, живильників, конвеєрів, елеваторів, грохотів.

Основним обладнанням, що генерують електромагнітні поля, є електрообладнання та трансформаторні підстанції.

Таблиця 4.2 - Результати вимірів запиленості та загазованості робочої зони

Найменування виробничої дільниці (робочого місця)	Найменування технологічного процесу	Шкідлива речовина	ГДК, мг/м^3 ГОСТ 12.1.005-88	Фактична концентрація, мг/м^3
Ділянка підготовки шихти	Дроблення, транспортування	Пил вуглецева	2,0	3,5
		C_2	20,0	6,0
	Електрокальцінація	Пил вуглецева	2,0	3,9
		C_2	20,0	12,7
Дозувальне відділення	Дозування, транспортування	Пил вуглецева	2,0	3,8
Змішувально – пресове відділення	Змішування, пресування	Пил вуглецева	2,0	4,3

Основними джерелами небезпеки ураження електричним струмом на шихтовому ділянці є: машини і механізми з електроприводом. В основному електрообладнання запитано від заводської мережі 380 В.

4.3 Захист від виявлених небезпечних і шкідливих факторів

Зменшення запиленості та загазованості виробляємо оптимізацією місцевих відсмоктувачів і наладкою оптимальних швидкостей аспіраційних систем, згідно з проектним величинам.

До обертових частин обладнання, розподільних електричних пристроїв, джерел теплового випромінювання (трубопроводи) – застосовуємо огороджувальні пристрої, як стаціонарні, так і рухомі, що відповідають вимогам ГОСТ 12.2.062-81 [19].

Для контролю переміщення вантажів застосовуємо обмежувальні пристрої тупикового типу. Також обмежувальні пристрої застосовуємо на залізничні колії, вантажно-розвантажувальні майданчики.

В цілях забезпечення безпеки працюючих на складі влаштована сигналізація, для чого над воротами зовні і всередині приміщень встановлені світлові транспортери «БЕРЕЖИСЬ ПОЇЗДА», а всередині склата дзвінок гучного бою.

По боках естакади на рівні головок рейок чи на 400 мм вище їх встановлені ходові площадки або інші пристрої для безпечного доступу до люків вагонів, минаючи траншеї. Майданчики зроблені шириною 0,8 м і обладнані поручнями висотою 1 м.

Для виключення випадків наїзду транспорту на двері складів, прилеглі до залізничних колій або виходять прямо на дорозі, перед ними влаштовані бар'єри. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) технологічного персоналу ділянки прокалочного відділення застосовуються, передбачені ГОСТ 12.4.011-85 [20].

В якості засобів захисту органів дихання застосовуються респіратори типу ЩБ – "пелюстка" ГОСТ 12.4.028-86 [21]. Спеціальна вібраційна взуття ГОСТ 12.4.03-83 [22] групи Мв – для захисту від механічних впливів і вібрації.

Для захисту працюючих при вантажно-розвантажувальних роботах, монтажних, зварювальних і інших роботах застосовуються будівельні каски ГОСТ 12.4.087-80 [23].

4.4 Рішення щодо виробничої санітарії

4.4.1 Штучне і природне освітлення

Одним з найважливіших параметрів виробничої обстановки є освітлення. Достатнє освітлення на робочих поверхнях забезпечується виконанням нормативних вимог, що встановлюють норми освітленості в залежності від характеристики зорової роботи визначається ступенем її точності, тобто розміром об'єктів розрізнення. СНіП 11-4-79 [25]. У виробничому приміщенні цеху вугільних заготовок передбачено природне освітлення і штучне освітлення (світлові ліхтарі).

На шихтовій ділянці цеху вугільних заготовок робоче місце оператора висвітлюємо штучним освітленням шляхом застосування світильника ПВЛП з лампою ДРЛ потужністю 250 Вт, світловий віддачею 11600 лм/Вт і тривалістю горіння 1000-4000 годин.

Роботу оператора відносимо до роботи середньої точності IV розряду. Освітленість відповідно до СНіП 11-4-79 [25], становить: загальна при штучному освітленні 300 Лк, при бічному природному освітленні 1,5 %, що відповідає обраній лампі.

Приміщення з постійним перебуванням в них людей (працюючих) мають як природне, так і штучне освітлення. В цеху використовуються люмінесцентні лампи типу ДРЛ і світильники типу "Астра" (ГОСТ 12.2.007-88 ССБТ).

4.4.2 Природна і штучна вентиляція

Вентиляція – організований повітрообмін – застосовується для створення номінальних метеорологічних умов, видалення шкідливостей, що виділяються при технологічних операціях. У нашому випадку нормальними метеорологічними умовами для роботи оператора є: температура навколишнього середовища 22-26^{o} С, відносна вологість 75 %, швидкість переміщення повітря 0,2 м/с (теплий час року), що відповідає нормам метеорологічних умов за ГОСТ 12.1.005-76 [24].

В цеху вугільних заготовок застосовується механічна і природна вентиляція. Природна вентиляція (аерація) – природний повітрообмін у виробничому приміщенні відбувається під впливом двох чинників: різниці температур, що створює тепловий тиск і дії вітру, що створює вітрове тиск. Для збільшення тиску, в даху цеху встановлені витяжні шахти і труби, на яких встановлені дефлектори, що дозволяють збільшити повітрообмін за рахунок вітрового напору. Також на перекритті цеху є світлові ліхтарі з стулками, що відкриваються, що теж підвищує тиск в цеху.

З допомогою механічної вентиляції, встановленої в цеху, повітря розподіляється у відповідності з заданими умовами, чисте повітря подають у визначені ділянки цеху, а видаляють забруднене від місць утворення шкідливих речовин, відводять для очищення [30].

4.4.3 Санітарно-побутові приміщення

До побутових приміщень належать приміщення для задоволення санітарних і побутових потреб трудящих під час перебування їх на роботі: приміщення для прийому їжі, гардеробні, душові, туалети, умивальні, пральні.

Цех вугільних заготовок відноситься до другої групи виробництв за СНіП 2.04.05-86 [26] (санітарні норми і правила проектування промислових підприємств). У побутовому приміщенні влаштований гардероб, умивальні, душові. Туалети розташовані як в побутовому приміщенні, так і в цеху.

Підлога в туалетах, умивальних і душових влаштовується водонепроникний, з ухилом до стічні трапу. Стіни на висоту 1,5 м покриті вологостійким матеріалом.

Будівля адміністративно-побутового приміщення збудовано у п'ять поверхів, шириною 18 м. Воно безпосередньо примикає до будівлі виробничого цеху. Побутове приміщення має окремий вихід.

Для роздачі питної води встановлені фонтанчики і автомати газованої води (температура води дорівнює 8-20 °С). Кількість газованої води на одну людину в зміну – в 4,5-5 л, відстань від робочих місць до питних установок менше 75 м [31].

4.5 Протипожежні заходи

Одним з важливих напрямків рішень задач підвищення безпеки виробництва є правильна оцінка вибухо - і пожежонебезпеки виробництва. При недооцінку цієї небезпеки під загрозою руйнування можуть бути будівлі, споруди, обладнання, а також життя людей. Переоцінка вибухо - і пожежонебезпеки призводить до невиправданих зайвих витрат при будівництві і експлуатації виробничих будівель і споруд.

Пожежа – неконтрольований процес горіння, що супроводжується знищенням матеріальних цінностей і створює небезпеку для життя людей.

У роботі щодо попередження пожеж головним напрямком є пожежна профілактика – система державних та громадських заходів, які проводяться з метою попередження пожеж, обмеження поширення пожеж, створення умов для евакуації людей з палаючого будинку та швидкого гасіння пожежі.

Таблиця 4.3 - Мінімальні межі вогнестійкості основних будівельних конструкцій залежно від ступеня вогнестійкості СНіП 11-2-80 [28]

Ступінь вогнестій-кості	Основні будівельні конструкції				
	Несучі стіни, стіни сходових кліток, колони	Сходові майданчики, балки і марші	Зовнішні стіни з навісних панелей	Внутріш-ня стінки, перего-рідки	Плити, настили та інші несучі конструкції перекриттів
	Мінімальні межі вогнестійкості				
II	2,0	1,0	0,25	0,25	0,75
	Максимальні межі поширення вогню				
II	Не допускається			40	Не допускаєтьс я

Важливий параметр будівель і споруд є ступінь їх вогнестійкості. За СНиП 2.09.02-85 [27] визначаємо, що цех вугільних заготовок відноситься до другого ступеня вогнестійкості. Мінімальні межі вогнестійкості приведені в таблиці 4.3 та 4.4.

Таблиця 4.4 - Класифікація виробничих приміщень за категоріями пожежної небезпеки, класифікації за ПУЕ і по групах санітарної характеристики

№ п/п	Найменування відділень і установок	Категорія виробництва з пожежної небезпеки	Класифікація по ПУЕ	Група виробничих процесів за сан.характерис-тикою СНіП
1	Відкритий склад сировини: антрациту	В	II-III	II-р
2	Закриті склади: антрациту повернень виробництва	В В	II-III II-II а,	II-р II-р
3	Транспортні галереї антрациту, повернень виробництва	В	II-II а,	II-р

Продовження табл. 4.4

4	Установка дроблення, сортування і транспортна галерея антрациту та повернень виробництва	В	II-II -	II-р
5	Дозувальне відділення	В	II-II -	II-б
6	Змішувально-пресове відділення	Д	-	II-р

Для попередження поширення пожежі, конструкції будівлі забезпечені протипожежними перешкодами – поперечними і поздовжніми.

Для евакуації людей з будівлі та приміщень цеху передбачені евакуаційні виходи. Так як ворота, призначені для руху автомобільного транспорту, не можуть бути евакуаційними виходами, передбачаємо спеціальні додаткові евакуаційні виходи.

Цех вугільних заготовок відноситься до пожежонебезпечної категорії «Г».

Згідно СНіП 2.01.02-85 [29] забір води для гасіння пожежі проводиться з пожежних гідрантів, розташованих по периметру цеху. Тиск 0,6 МПа створюється пожежними насосами, що запускаються не пізніше, ніж через 5 хвилин після виникнення пожежі.

Використовуються насоси дозволяють створювати необхідний тиск в системі пожежогасіння і розраховані на витрату води відповідно до норм витрат води для внутрішнього пожежогасіння – 20 л/м^2 і зовнішнього – 30 л/м^2.

До індивідуальних засобів гасіння пожежі відносяться ручні вогнегасники ОУ-5 (вогнегасник вуглекислотний), ВП-5 (вогнегасник порошковий) – для гасіння твердих горючих матеріалів, і електроапаратури.

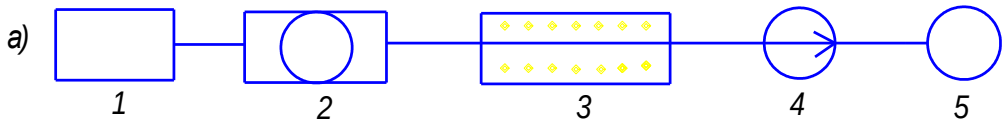
4.6 Захист навколишнього середовища

Основним джерелом забруднення атмосфери є: пил вуглецева. Джерелами забруднення є дробарки, дозатори, елеватори та вібраційні гуркоту.

Витяжна вентиляція від технологічного обладнання дозволяє, при правильній експлуатації шляхом раціонально налаштованої системи дроселів і засувок досягти допустимих значень запиленості на робочих місцях [32].

При прожарюванні сировини (антрациту) утворюються два види газу, який необхідно піддавати очистки, це технологічний газ та аспіраційний.

Технологічний газ утворюється безпосередньо при прожарюванні антрациту в электрокальцинаторе. Температура відхідних газів 300-700 ^{0}C, вміст пилу 0,95-3,4 г/м^3, вміст смол 0,3-1,3 г/м^3. Обсяг газів, що відходять 550-800 м^3/год (рис. 4.1).

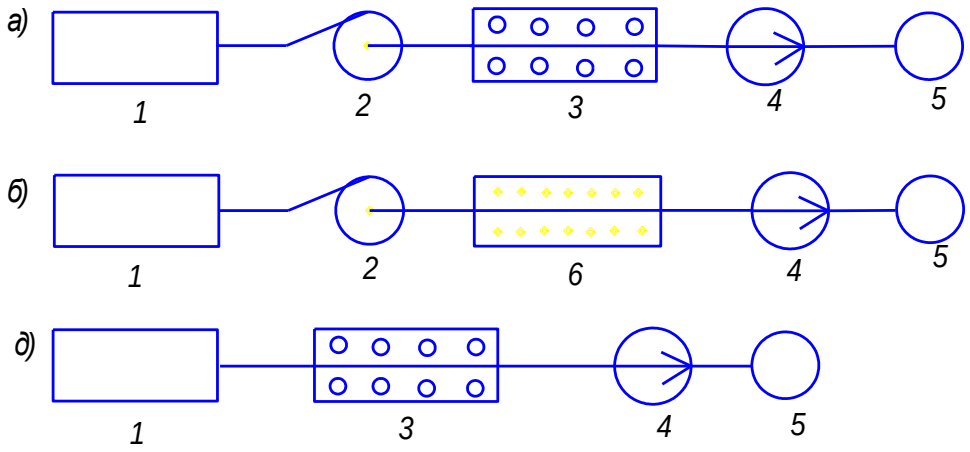


1 – електрокальцинатор; 2 – котел - утилізатор; 3 – електрофільтр; 4 – димосос; 5 – димова труба.

Рисунок 4.1 - Схема очищення техногенного газу

4.6.1 Знешкодження викидів при прожарюванні сировини

Аспіраційний газ утворюється при розвантаженні электрокальцинатора через механізм розвантаження. Пил утворюється в основному з-за тертя матеріалу між собою і об стінки (футерування) электрокальцинатора. Вміст пилу в аспіраційному газі 2,5-5 г/м^3. Обсяг очищуваного газу 1500 м^3/год. Знешкодження (знепилювання) здійснюється за такими схемами рис. 4.2. Медіанний діаметр пилу dm ≈ 3 мкм.



1 – механізм розвантаження; 2 – циклон або група циклонів; 3 – рукавний фільтр; 4 – димосос; 5 – димова труба; 6 – електрофільтр.

Рисунок 4.2 - Схеми знепилювання

Всі ці схеми показали надійну роботу по знепилення аспіраційних газів. Застосування тієї чи іншої схеми залежить тільки від економічних міркувань і місця монтажу очисних установок.

4.6.2 Обґрунтування обраного способу очищення техногенних газів

Виходячи з розташування обладнання і механізмів в прокалочному відділенні цеху, а також в необхідності використання уловленого пилу у виробництві вибираємо схему, що включає в себе рукавний фільтр, димосос, димова труба. Використання цієї схеми очищення дозволяє з досить високим ступенем (до 99 %) очистити запилений газ механізму розвантаження електрокальцинатора. А також порівняно не складний монтаж устаткування і його ремонт та обслуговування.

Для цього в якості апарату очищення вибираємо рукавний фільтр ФРКИ-30 (фільтр рукавний каркасний імпульсний з площею фільтрації 30 м^2). Фільтр типу ФРКИ загальнопромислового застосування призначене для уловлювання пилу в різних металургійних переділах, а також в інших галузях промисловості. Застосовуються для очищення порівняно невеликих обсягів газу, при температурі очищуваного газу не вище 130 ºС. Компактні

габаритні розміри апарату 1,46×2,06×3,60 м дозволяють нам розмістити його безпосередньо на ділянці прожарення антрациту.

Вивантаження вловленого пилу виробляємо у пиловий бункер. До того ж така схема очищення може працювати автоматично, не вимагаючи присутності і контролю людини.

4.6.3 Опис конструкції і принцип роботи рукавного фільтра

Найбільш поширеним типом рукавного фільтра є рукавний фільтр, головним елементом якого є рукави, виготовлені з фільтрувальної тканини. У фільтрі ФРКІ-30 розташовані 36 рукавів з розмірами: Ø 135, L = 2000 мм. Рукава виготовлені з лавсанової тканини, яка має хорошу стійкість проти стирання, розривне подовження 20-29 %, витримує температуру до 130 ºС, не горить, щільність 1170 кг/м^3.

Корпус фільтра складається з стінок мають ребра жорсткості, і термоізоляцію. У верхній частині корпусу знаходиться штуцер для випуску знепиленого газу. Усередині корпусу змонтована плита-носій, до якої кріпляться рукава. Також у верхній частині корпусу фільтра змонтовані розподільні труби, для зворотного продування рукавів.

До корпусу фільтра у верхній його частині кріпиться кришка фільтра за допомогою захоплень, через повстяне ущільнення.

Запилені гази направляються в корпус фільтра через нижню його частину. Фільтруючись через тканину, газ проходить в камеру очищеного газу і через відкритий випускний клапан виходять з неї в атмосферу. Частинки пилу, що містяться в газі, осідають на зовнішній поверхні рукава, в результаті чого опір проходу газу поступово збільшується. Коли воно досягає деякого граничного, за умовами тяги, значення, фільтр переводиться на режим регенератора, тобто рукава звільняються від осілої на них пилу.

Регенерація рукавів здійснюється імпульсами стисненого повітря з подачею повітря всередину рукава. Тривалість імпульсу 0,2-0,3 с при

надлишковому тиску повітря 500-600 кПа. Витрата повітря, яке використовують становить 0,1-0,2 % від кількості очищуваних газів. Управління імпульсними електромагнітними клапанами стисненого повітря автоматизовано.

При проході газу через чисту тканину, тобто в початковий період роботи фільтра, відбувається осадження частинок пилу на волокнах тканини. Захоплення частинок волокнами відбувається за рахунок механізмів дотику, інерції дифузії, гравітації і електростатичної взаємодії. Далі, внаслідок того, що щільність упаковки у тканини значно вище, ніж у волокнистих фільтрів, на лобовій стороні фільтру починається формуватися суцільний шар із частинок пилу, які можуть проникнути вглиб тканини.

Утворюється вторинний лобової шар (автослой) починає сам затримувати надходять частки, внаслідок чого товщина його поступово зростає, і він стає головною фільтруючим середовищем. Оскільки пори, що утворюються між частинками лобового шару, і самі вловлюються частинки мають близькі розміри, значну роль починає грати ситовий ефект.

Непроникність вторинного пилового шару для знову вступників часток всіх розмірів добре пояснює зазвичай дуже високий ступінь очищення газів у тканинних фільтрах в запиленому стані, нерідко перевищує 99 % для пилу будь дискретності.

Зниження ефективності фільтра завжди пов'язано з динамічним пробоєм цього шару і проскоком пилу в місцях руйнування шару, утворення тріщин, а також з наявністю великих пір в фільтруючому матеріалі, де шар пилу взагалі не може утворюватися. Виникненню тріщин, а також руйнування пилового шару можуть відбуватися безпосередньо в ході процесу фільтрації в результаті пульсації газового потоку і мікровібрації промислової установки.

Всяке збільшення зовнішніх сил, що діють на систему, зокрема зростання перепаду тиску на фільтрі, сприяє виникненню динамічних пробоїв шару.

З часом опір фільтра безперервно збільшується.

В процесі регенерації ефективність фільтра знижуються. Тому при регенерації слід руйнувати і видаляти пиловий шар, залишаючи проникла всередину пил в порах тканини. Для цього імпульсну продувку ведуть при невисоких швидкостях, порівнянних зі швидкостями фільтрації.

Імпульсна регенерація – подача стиснутого повітря всередину рукавів, тривалість імпульсу становить 0,2-0,3 сек. при надлишковому тиску 400-600 кПа. Витрата продуваючого повітря становить 0,1-0,2 % кількості очищуваних газів. Імпульсна регенерація здійснюється електромагнітними клапанами за допомогою системи автоматики, з періодичністю 2-5 хвилин [33].

4.6.4 Розрахунок рукавного фільтра

Потрібно розрахувати рукавний фільтр з лавсанової тканини, призначений для очищення газів від механізму розвантаження електрокальцинатора:

- об'ємна витрата газів при н. у. $V_O = 1500$ м^3/год;
- температура газу $t_r = 90$ °С, на шляху до фільтру газ охолоджується до 60 °С;
- барометричний тиск, $P_б = 101,3$ кПа;
- розрідження перед фільтром $P_р = 300$ Па;
- динамічна в'язкість газів при н. у. $\mu_o = 17,5 \cdot 10^{-6}$ Па·с;
- константа Сезерленда (С = 124);
- середній медіанний діаметр частинок пилу $d_m = 3$ мкм;
- концентрація пилу в газах перед фільтром $z_1 = 5$ г/м^3;
- щільність часток пилу $\rho_п = 2100$ кг/м^3;
- пористість тканини $E_т = 0,83$;
- пористість частинок пилу $E_п = 0,85$;
- максимальний перепад тиску на фільтрі 5 кПа.

1. Повний об'ємна витрата газів, що надходять на фільтрацію, при

н. у. знаходимо за формулою:

$$V_o' = (V_o \cdot 1{,}25) / 3600 \quad (4.1)$$

де V_o – об'ємна витрата газів;

1,25 – коефіцієнт, враховує витрата повітря зворотного продування, рівний 25% витрати підводяться до фільтру газів.

$$V_o' = (1500 \cdot 1{,}25) / 3600 = 1875 / 3600 = 0{,}52 \text{ м}^3/\text{с}$$

2. Об'ємна витрата газів, що надходять на фільтрацію, при н. у.

$$V = V_o' \frac{(273 - t_r) * 101{,}3}{273(101{,}3 \pm P_r)} \quad (4.2)$$

де 101,3 кПа – нормальний атмосферний тиск.

$$V = V_o' \frac{(273 + 60) * 101{,}3}{273(101{,}3 - 0{,}3)} = 0{,}63 \, м^3 / с .$$

3. Площа необхідної активної фільтруючої поверхні при газовій навантаженні, $W_ф = 0{,}025$ м^3/(м^2·с)

$$F_a = V / W_{ср} \quad (4.3)$$

$$F_a = 0{,}63 / 0{,}025 = 25{,}2 \text{ м}^3$$

Приймаємо для установки фільтр ФРКІ-30 з площею фільтрації 30 м^2.

4. Фактична газове навантаження фільтра:

$$W_ф' = V / F_a = 0{,}63 / 30 = 0{,}021 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с}) \quad (4.4)$$

5. Динамічна в'язкість газів при н. у. [34]

$$\mu = \mu_o \frac{273+C}{t_r+273+C} * \left(\frac{t_r+273}{273}\right)^{1,5} = 17,5*10^{-6} \frac{273+124}{333+124} * \left(\frac{333}{273}\right)^{1,5} = 20,4*10^{-6}\ Па*с$$

6. Коефіцієнти фільтрації [34]

$$A = 0,475 \frac{(1-E_n)^2}{{E_T}^{3,24} * {E_n}^3 * d^{1,77}} = 0,475 \frac{(1-0,85)^2}{0,83^{3,24} * 0,85^3 * (1*10^{-6})^{1,77}} = 1330*10^6$$

$$B = \frac{817(1-E_n)}{\alpha^2 * {E_n}^2 * \rho_n}$$

де $\alpha = 10^{-6}$ – коефіцієнт

$$B = \frac{817(1-0,85)}{(10^{-6})^2 * 0,85^2 * 2100} = 81,15*10^9$$

8. Гідравлічний опір тканини:

$$\Delta P_1 = A\ W_ф'\ \mu \qquad (4.5)$$

$$\Delta P_1 = 1330*10^6*0,021*20,4*10^{-6} = 549\ Па$$

9. Час межрегенераціонного періоду при ΔР = 5000 Па, [34]

$$t_p = \frac{\Delta P/(W_ф'*\mu) - A}{B*W_ф'*z_1}$$

$$t_p = \frac{5000/(0,021*20,4*10^{-6}) - 1330*10^6}{81,15*10^9 * 0,021*5*10^{-3}} = 440\ с \qquad (4.6)$$

440 с = 7,3 хвилини

10. Маса пилу, що утримується 1 м^2 площі фільтруючої поверхні [34]

$$M_1 = z_z \cdot W_ф' \cdot t_p \quad (4.7)$$

$$M_1 = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}021 \cdot 440 = 46{,}2 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

11. Гідравлічний опір шару пилу:

$$\Delta P_2 = B \cdot M_1 \cdot W_ф' \cdot \mu \quad (4.8)$$

$$\Delta P_2 = 1{,}15 \cdot 10^9 \cdot 0{,}021 \cdot 20{,}4 \cdot 10^{-6} \cdot 46{,}2 \cdot 10^{-3} = 1606 \text{ Па.}$$

12. Сумарний опір тканини, і соля пилу

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 = 569 + 1606 = 2175 \text{ Па} \quad (4.9)$$

13. Ступінь уловлювання пилу в рукавному фільтрі становить до 99 %, кінцева запиленість складає:

$$z_2 = (1\text{-}r)\, z_1 = (1 - 0{,}99) \cdot 5 = 0{,}05 \text{ г/м}^3.$$

Висновки

У цій частині дипломної роботи було розглянуто визначення та класифікацію виробничих шкідливих факторів, їхній вплив на організм працівників, а також основні шляхи захисту людини від цих шкідливих чинників.

Як показує практика, там, де питання охорони праці та техніки безпеки отримують належну увагу, продуктивність праці значно вища, людські та часові втрати менші, стан здоров’я працівників кращий, психологічний клімат у колективі здоровий, а в результаті—високі трудові показники.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

При кальцинації антрациту відбуваються термічні перетворення, які зумовлюють отримання вуглецевого матеріалу достатньої електропровідності, щоб надалі використовувати його як сировину у виробництві різних електродних виробів. Це, перш за все, обпалені катодні подові та бічні блоки алюмінієвих електролізерів, як найбільш масова продукція заводу, вуглецеві маси для електродів феросплавних печей та анодів алюмінієвих електролізерів.

Основним завданням при реконструкції електрокальцинатора було одержання товарного електротермоантрациту шляхом одностадійної термообробки. Отриманий за один прохід кальценований антрацит повинен мати питомий електроопір не вище 1000 мкОм·м, а однорідність властивостей повинна бути не менше 50...60 %, значення УЕС не повинні відливатись не більше ніж на 100 мкОм·м.

Установка в шахті печі дроселя дозволила вирішити одночасно ряд завдань - домогтися однорідного нагріву всієї вугільної шихти, що проходить через піч; значно зростає щільність електричного струму у вугільній шихті в момент проходу її через звуження в дросі; дроселюється не тільки потік матеріалу, а й електричний струм.

Економічна ефективність процесу одержання кальценованого антрациту значною мірою залежить від витрати електроенергії. Розглянута модернізація електрокальцинатора дозволила реалізувати процес за мінімальних витрат електроенергії.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Углеродные наноматериалы: электронное строение и процессы структурообразования / Я.В. Зауличный, С.С. Петровская, Е.В. Грайворонская, Ю.М. Солонин. Киев: Наукова думка, 2012. 277 с.

2. Куцова В.З., Котова Т.В. Вуглецеві наноматеріали : навч. посібник. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2014. 61 с.

3. E. Rollings et al. Syn--thesis and characterization of atomically thin graphite films on a silicon carbide substrate. J. of Physics and Chemistry of Solids, 2006. Vol. 67; Zh. Chen et al. Graphene Nano-Ribbon // Electronics Physica E. 2007. Vol. 40.

4. І.Ф. Миронюк,В.І. Мандзюк, В.М. Сачко Вуглецеві електродні матеріали для електрохімічних конденсаторів (огляд). PHYSICS AND CHEMISTRY OF SOLIDSTATE Т. 17, № 2 (2016) С. 262-268.

5. Овсієнко І.В., Вовченко Л.Ю., Мацуй Л.Ю. Вуглецеві матеріали та інтеркальовані сполуки на їх основі / І.В.Овсієнко, Л.Л.Вовченко, Л.Ю.Мацуй. Київ. 2009. 135 с.

6. Станкевич И.В., Никеров М.В., Гальперин Е.Г., Бочвар Д.А. Кристаллические модификации углерода: относительная стабильность и характер электронного спектра. Журнал структурной химиию, 1987. №4. С.96.

7. Черныш И.Г., Карпов И.И., Приходько Г.П., Шай В.М. Физико-химические свойства графита и его соединений. Киев : Наукова думка, 1990. 200 с.

8. Charlier J.-C., Michenaud J.-P., Gonze X. First-principles study of the electronic properties of simple hexagonal graphite. Phys. Rev.B. V46. 1992. N8. P.4531-4539.

9. Slonschewski J.-C., Weiss P.-K. Band structure of graphite. Phys. Rev. V109. 1957. N4. P. 272-296.

10. Tatar R.S., Rabii S. Electronic properties of graphite: A unified theoretical study. // Phys. Rev.B. V25. 1992. N6. P.4126-4141.

11. Уббелоде А.Р., Льюис Ф.А. Графит и его кристалличекие соединения. Москва: Мир, 1965. 256 с.

12. Mairo I., Mering J. Graphitization of soft carbon. Chemistry and physics of carbon, 1970. V.6. P.125-190.

13. Charlier J.-C., Michenaud J.-P., Lambin P., Vigneron J.P. Tight-binding density of electronic states of pregraphitic carbon. Phys.Rev. B. V45. 1991. N8. P. 4540-4543.

13. Charlier J.C., Michenaud J.P., Gonze X. Tight-binding model for the electronic properties of simple hexagonal graphite. Phys.Rev. B. V44. 1991. N24. P.13237-13249.

14. Harker H. An electronic model for amorphous carbon. Phil. Mag., 1967. V.16, N44. P.1193-1296.

15. Adkins C.Y, Freaker S.M., Hamilton E.M. Electrical conduction of amorphous carbon. Proc. Ray.Soc., 1970. N2. P.183-188.

16. Galushka A.A., Madden H.H., Allred R.E. Electron spectroscopy of graphite, graphite oxide and amorphous carbon. App. Surf. Sc., 1988. V.32, N1. P.253-272.

17. Григорчак І.І. Інтеркаляція: здобутки, проблеми, перспективи. Фізика і хімія твердого тіла, 2001. Т.2. №1. С. 7-55.

18. Herold A. Synthesis of graphite intercalation compounds. NATO ASY., Ser.B., 1987. V.175. P. 3-45.

19. Kirczenow G. Domain model of stage order and disorder in intercalation compounds. Phys.Rev. B. V31. 1985. N8. P. 5376-5386.

20. Leung S.Y., Underhill C., Dresselhaus G., Krapchev T. X-ray chracterization of graphite intercalation compounds. Solid State Commun. V32. 1979. N3. P. 635-639.

21. Beguin F., Messaoudi Ali. New method for preparing Supported Metals: Decomposition of Metallocenes by Graphitide KC8. J. Mater. Chem., 1992. V2. N9. P. 957-960.

22. Dahn J.R., Dahn D.C., Haering R.R. Elastic energy and staging in intercalation compounds. Solid State Communs, 1982. V.4., N3. P.179-183.

23. Anderson S.H., Chung D.D.L. Kinetics and thermodynamics of intercalation of bromine in graphite – I Experiment. Carbon, 1987. V.25,.N2. P.191-210.

24. Anderson S.H., Chung D.D.L. Kinetics and thermodynamics of intercalation of bromine in graphite – II. Theory. Carbon, 1987. V.25. N2. P.211-218.

25. Anderson S.H., Chung D.D.L. A theory for the kinetics of intercalation of graphite. // Carbon, 1987. V.25. N2. P.377-389.

26. Ho C.T., Chung D.D.L. Kinetics of intercalate description from carbon fibers intercalated with bromine. Carbon, 1990. V.28. №6. P.825-830.

27. Andersson O.E., Sundqvist B., McRae E., Marêché J.F., Lelaurain M. A study of temperature and pressure induced structural and electronic changes in SbCl5 intercalated graphite: Part II. Experimental data for c-axis resistivity. J. Mater. Res, 1992. V.7. N11. P. 2989-3000.

28. Sugihara K. Theory of the c-axis conduction and thermoelectric power in graphite intercalation compounds. J Phys. Soc. Jap., 1993. V.62. N2. P. 624-633.

29. Enoky T., Sakamoto N., Nakaxawa K., Suzuki K., Sugihara K., Kobayashi K. C-axis electrical conductivity of sodium-hydride-graphite intercalation compounds. Phys. Rev. B., 1993. V.47. N16. P. 10662-10670.

30. Suzuki M., Suzuki I-S., Lee C., Niver R., Matsubara K., Sugihara K. C-axis resistivity of SbCl5 graphite intercalation compounds. J. Phys.: Condens. Matter., 1997. V.9. P. 10399- 10420.

31. Дворкіна І.В., Мацуй Л.Ю., Вовченко Л.Л., Харьков Є.Й., Турчин О.М. Фононне захоплення в пірографіті, інтеркальованому хлоридами металів. Вісник київського університету, 1991. №2. С.78-83.

32. Iye Y., Takahashi O., Tanuma S.-I., Tsuji K., Minomura S. Effect of pressure on Electronic Properties of Acceptor-Type graphite intercalation Compounds. J. Phys. Soc. of Japan, 1982. V.51. N2. P. 475-482.

33. Andersson O.E., Lelaurain M., Marêché J-F., McRae E., Sundqvist B. Structure, C-axis resistivity and P-T phase diagrams SbCl5 intercalated graphite. Synthetic Metals, 1989. V.34. P. 187-192.

34. Hwang D.M., Nicolaides G. Ultrasonic studies of phase transition in stage-4 antimony pentachloride intercalated graphite. Sol.Stat.Comun., 1984. V.49. N5. P.483-487.

35. De Groot K., Mauder D., Müller V. Ultrasonic investigations of the kinetics of ordering in $SbCl_5$-intercalated graphite. Synthetic Metals, 1989. V.34. P.335-340.

36. Zhu W. et al. Diamond and Related Materials, 2002. №10. P 1709–1713.

37. Mykhailova H.Yu., Nishchenko M.M., Kovalchuk B.V. et all. Universal J. Mater. Sci 2016. №.5. P.109 -125.

38. Михайлова Г.Ю., Лень Є.Г., Галстян І. Є. та ін. Металлофіз. новітні технол., 2020. № 4. P. 575–593.

40. Galstian I.Ye. et all. Metallofi z. Noveishie Tekhnol., 2020. № 4. P. 451–470.

41. Xiao G. et al. Applied Energy, 2017. №. 208. P. 1318-1342.